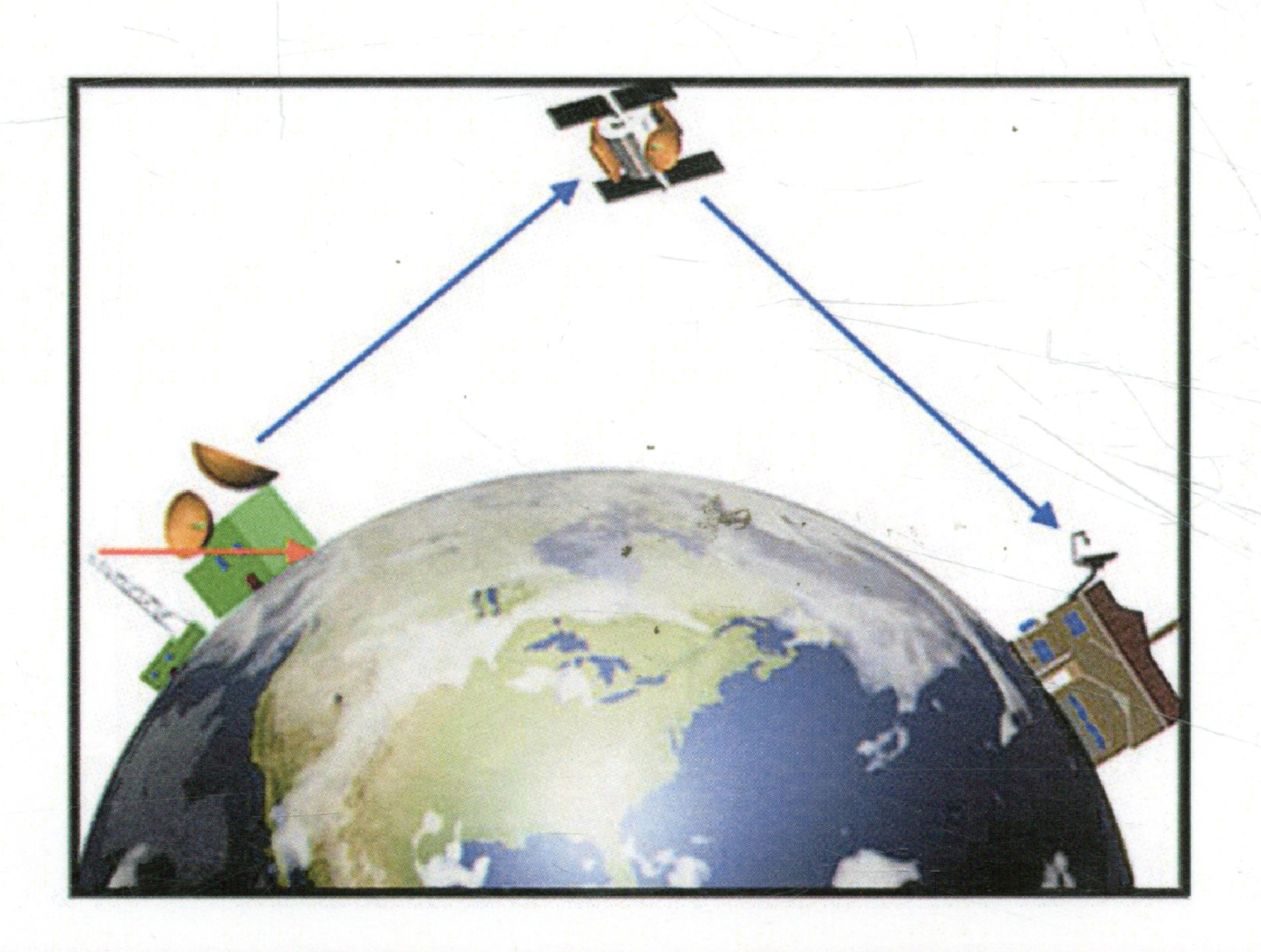
الأقمار الصناعية

تاريخها، أنواعها، مدارتها، طرق تتبعها

الدكتور
فريد مصعب الدليمي







الأقمار الصناعية

تاريخها ، انواعها ، مداراتها ، طرق تتبعها

رقم الإيداع لدى المكتبة الوطنية (2013/12/4409)

523.9
الدليمي، فريد مصعب
الأقمار الصناعية: تاريخها، أنواعها، مداراتها، طرق تتبعها/ فريدة مصعب الدليمي.-
عمان: دار غيداء للنشر والتوزيع، 2013
( ) ص
ر.إ.: (2013/12/4409).-
الواصفات:/ الأقمار الصناعية

❖ تم إعداد بيانات الفهرسة والتصنيف الأولية من قبل دائرة المكتبة الوطنية

ISBN 978-9957-572-89-1



تلاع العلي - شارع الملكة رانيا العبدالله
مجمع العساف التجاري - الطابق الأول
تلفاكس: 5353402 6 962+
خلـوي: 95667143 7 962+
ص.ب: 520946 عمان 11152 الأردن
E-mail: darghidaa@gmail.com

الأقمار الصناعية

تاريخها ، انواعها ، مداراتها ، طرق تتبعها

تأليف الدكتور

م. فريد مصعب مهدي الدليمي

جامعة الانبار – كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الفيزياء

الطبعة الأولى

2014 م – 1435هـ

﴿ لَا ٱلشَّمْسُ يَنۢبَغِى لَهَآ أَن تُدْرِكَ ٱلْقَمَرَ وَلَا ٱلَّيْلُ سَابِقُ ٱلنَّهَارِ ۚ وَكُلٌّ فِى فَلَكٍ يَسْبَحُونَ ﴾

(يٓس:40)

الإهداء

إلى الصادق الأمين الذي أرسل رحمة للعالمين... محمد صلى الله علية وسلم.

إلى من رضاهم بعد رضا الله العظيم... الى والدي العزيز ووالدتي العزيزة اسكنهم الله فسيح جناته.

اهدي جهدي هذا عله يكون جزءاً من الوفاء لهم ...

فريد الدليمي

تشرين الثاني 2013

الفهرس

الفصل الرابع

(حساب العناصر المدارية وتغيرها مع الزمن بطريقة الرصد)

الفصل الخامس

فهرست الأشكال

مقدمة

قدمت في هذا الكتاب دراسة لمسالة المسارات المدارية للاقمار الصناعية من خلال الرصد البصري حيث تتم عملية الرصد بواسطة منظومتي رصد توضعان في موقعين مختلفين تقومان بتزويد معطيات الأرصاد للمواقع الفلكية للقمر الصناعي من زوايا الارتفاع وزوايا الاتجاه مع الزمن.

تم بناء مجموعة برامج حاسوبية لحساب العناصر المدارية الستة (a،e، i، Ω، ω، M) المستخدمة في التعرف على مدارات الأقمار الصناعية وذلك باستخدام العلاقات الهندسية المثلثية مع الأخذ بالحسبان تأثير تكور الأرض وارتفاع الراصد عن سطح البحر.

وقد تم دراسة تغير كل من بعد القمر عن مركز الأرض والانحراف المركزي ونصف المحور الكبير للمدار وبعد نقطة الحضيض مع الزمن وتأثيرها على العناصر المدارية ومعاملات المدار وتم تحليل نتائج الدراسة والتحقق من البرامج المستخدمة لمعالجة نتائج الرصد ومطابقة نتائج هذه البرامج للتفسيرات الفيزياوية للقوانين المستخدمة في حساب مدار القطع الناقص.

وأظهرت هذه النتائج إمكانية حساب العناصر المدارية للأقمار الصناعية باستخدام الرصد البصري من موقعين اعتمادا على دقة الرصد وتوفر شروط الرؤية البصرية المباشرة ومنها يمكن تحديد موقع وسرعة القمر الصناعي في أي وقت لاحق وكذلك حساب مواقيت مروره اللاحقة فوق أو بالقرب من محطة الرصد. وكذلك الأماكن التي سيمر فوقها القمر الصناعي في دوراته اللاحقة.

ان طموحنا في هذا الكتاب هو ايجاد طريقة لمتابعة ومعالجة ظاهرة الاقمار الصناعية عند مرورها في السماء وتحديد مداراتها وحساب العناصر المدارية لها عن

طريق الرصد البصري من سطح الارض وامكانية حساب اماكن وازمان مرورها اللاحق فوق الارض لنجعل هذا الجهد المتواضع مصدرا مفيدا للمهتمين بهذا الموضوع من اختصاصين وهواة ورفد المكتبات العربية بهذا النوع من المصادر لقلتها راجين من الله العون والتوفيق.

الفصل الأول

مقدمة عامة وتاريخ نظرية المدارات

(1-1) مقدمة عن الاقمار الصناعية

(1-2) انجازات العلماء في مجال نظرية المدارات

(1-3) الاهداف العلمية

الفصل الأول

مقدمة عامة وتاريخ نظرية المدارات

مقدمة عن الاقمار الصناعية

الساتل الفضائي هو مركبة تدور في فلك (مدار) في الفضاء الخارجي حول الارض او حول كوكب اخر وتقوم بأعمال عديدة مثل الفحص والكشف والتصوير والاتصالات. وكان العرب أول من استخدم كلمة الساتل في علم الفلك للدلالة على الاجسام الفضائية التي تتبع اخرى وتدور في فلكها ، فالقمر ساتل الارض وجمع الكلمة هو سواتل وقد دخلت الكلمة الى اللغة الانكليزية لتصبح (Satellite) واصبحت تستخدم دلالة على كل الاقمار الطبيعية والاصطناعية.

القمر الصناعي (Artificial Satellite) هو جسم صغير من صنع الانسان يجول او يدور حول جسم اكبر مثل كوكب الارض او القمر او غيرها من كواكب المجموعة الشمسية واقمارها فيصبح تابع له تحكم حركته تأثيرات ذلك الكوكب الفيزياوية مثل الحجم وقوة الجاذبية والظروف الجوية وغيرها حسب قوانين كبلر ونيوتن للحركة. ويعد منتصف القرن الماضي هو بداية عصر الفضاء بالنسبة للانسان عندما اطلق في الفضاء اول قمر صناعي وقد وصل عددها حاليا الى مايزيد عن (10000) قمر صناعي تدور حول الارض لها مهام مختلفة وضعت في مداراتها حول الارض عن طريق استخدام صواريخ خاصة لهذا الغرض.

تستخدم بعض هذه الاقمار لرسم خرائط اكثر دقة لسطح الارض وتساعد في تحديد اماكن الغابات الكثيفة وكذلك في تحديد اماكن النباتات المريضة والسليمة والمساعدة في اكتشاف الثروات السمكية وتجمعاتها في البحار والمحيطات واكتشاف الثروات المعدنية في باطن الارض وكذلك دراسة المناخ والتحذير من الاعاصير المدمرة قبل وقوعها وارشاد البواخر والسفن وكذلك تعتبر الاساس في ثورة الاتصالات الحالية في العالم وتستخدم ايضا في الرصد الفضائي ودراسة الكواكب والنجوم وكذلك

للاغراض العسكرية والتجسس والمراقبة. انها عيون ساهرة لاتنام ، ترصد في كل الاوقات والظروف مايحدث على اليابسة وفي اعماق المحيطات وعبر افاق السماء ، انها تراقب الحركة وتحدد المواقع وتسجل الاتجاة الصحيح لتصبح أداة فعالة في العتاد البشري في القرن الواحد والعشرين ، انها في وقت السلم المسؤولة الاولى عن ثورة الاتصالات التي نلمسها جميعا في حياتنا اليومية عبر استخدامات مباشرة وغير مباشرة وهي في وقت الحرب المرجع الاساسي في تنفيذ مجموعة معقدة من المعلومات الاستطلاعية والاتصالات الميدانية وتحديد اهداف الطائرات المقاتلة والصواريخ العسكرية والغواصات والمشاة. وبهذة التطبيقات المتعددة والاستخدامات المتنوعة والافاق المتنامية اصبحت الاقمار الصناعية معلما مميزا للحياة الحديثة وركنا اساسيا من اركان التطور الحضاري في النصف الاخير من القرن العشرين ومنطلقا واعدا من منطلقات القرن الواحد والعشرين.

يتكون القمر الصناعي من مجموعة من الاجزاء والمعدات المختلفة التي يحتاجها لاداء المهمة المكلف بها، وهناك مكونات اساسية توجد في جميع الاقمار مثل اجنحة الخلايا الشمسية التي تمد القمر بالطاقة اللازمة لتشغيله وهناك بطاريات احتياطية من الهيدروجين او النيكل كادميوم لتشغيل القمر في حالات الطوارئ او في حالات الكسوف الشمسي وهناك الهوائيات اللازمة لاتصال القمر بمحطات التحكم والسيطرة الارضية وبث الصور والبيانات اليها واستقبال الاوامر منها وهناك الكاميرات الرقمية الدقيقة جدا خاصة في اقمار التجسس والاقمار العسكرية واقمار الطقس والابحاث العلمية حيث تصل دقة هذه الكاميرات الى تصوير شخص متحرك على الارض بكل تفاصيله وهناك النواقل كما في اقمار البث الفضائي والاتصالات وهي التي يتم تحميل القنوات الفضائية والتلفونية عليها وتتميز اقمار الاتصالات والبث التلفزيوني عن جميع الاقمار بان لها هوائيات عملاقة موجودة فيها تتيح لها نقل الصور والبيانات والاتصالات من مكان الى اخر على سطح الكرة الارضية. وتوجد كل هذه المحتويات في وعاء خارجي وهو الغلاف الخارجي للقمر الصناعي او الهيكل الاساسي لم المصنوع من مواد تحمية من الاشعة والمؤثرات الفضائية والذي يضم بدوره مجموعة كبيرة من الدوائر والرقائق

الالكترونية واجهزة الكومبيوتر الدقيقة ومولد للطاقة ومعدات الاتصال واجهزة التحسس عن بعد.

(1-2) إنجازات العلماء في مجال نظرية المدارات:

لقد قدم الكثير من العلماء العديد من النظريات العلمية حول المدارات المخروطية وانواعها والقوانين الفيزياوية التي تحكمها والتي كانت ومازالت هي الاساس النظري في تفسير الحركة المدارية للكواكب السيارة حول الشمس وحركة الاقمار الطبيعية حولها وهي الاساس في عملية اطلاق الاقمار الصناعية ووضعها في مداراتها حول الارض او اطلاقها في الفضاء وهي التي أوصلت العالم الى هذا التطور الذي نشهده اليوم الذي يمثل ثورة علمية في كافة المجالات العلمية والحياتية التي تعتمد على الاقمار الصناعية. ووفاءا منا لهم ندرج ادناه بعض الانجازات العلمية لهؤلاء العلماء الافاضل متسلسلة حسب تاريخها:

يعد العالم يوهان كبلر (1571-1630) أول من قدم الأساس النظري الثابت لنظرية المدار وحل مشكلة الجسمين المتجاذبين ووضع القواعد الرياضية لحل معادلة القطع الناقص المعروفة باسمه ووضع قوانينه الثلاثة المعروفة التي تصف حركة الكواكب السيارة حول الشمس اعتمادا على أرصادات أستاذه (تايكو براهي).

واستطاع العالم اسحق نيوتن (1642-1727) إثبات صحة الصيغ الرياضية لقوانين كبلر واعتبارها حالة خاصة من قوانينه في الحركة حيث اصدر عام (1687) كتابه الشهير (Principia Mathematics) الذي وصف فيه قوانين الجاذبية والحركة.

وفي عام (1744) اقترح اويلر(Euler) طريقة تحليلية خالصة لحساب مدارات القطع المكافئ ثم قام بتوسيعها (Lambert) لتشمل مدارات القطع الناقص والقطع الزائد وتم إكمالها في عام (1788) من قبل لاكرانج (Lagrange).

وفي عام (1780) شرع لابلاس (Laplace) في دراسة حسابات المدار وأوجد طريقة لحساب العناصر المدارية بواسطة الرصد بالاعتماد على بيانات الزوايا فقط. وفي

عام (1801) استطاع كاوس (Gauss) (1777-1855) حساب العناصر المدارية للكوكب الصغير (Ceres). وقد شهد القرن العشرين تطورات كبيرة في دقة تحديد مدارات الأقمار الصناعية بسبب التطورات الكبيرة في تكنولوجيا المدارات والمحطات الأرضية. وفيما يلي نوجز أهم الإنجازات العلمية التي تمت في تطوير الأقمار الصناعية وطرق تحديد المدارات متسلسلة حسب تاريخها:

1 - قدم (Garfinkel) في عام (1959) حلاً لمسالة الحركة باستخدام طريقة (Poisson) على أساس فك متسلسلة تايلر (Taylor Series).

2- في عام (1959) قام (Kozia) باشتقاق دالة لمعدل العناصر المدارية والزمن لجسم يتحرك ضمن المجال الجذبي للأرض مع الأخذ بنظر الاعتبار حساب الاضطراب في العناصر المدارية الستة.

3- في عام (1959) أيضا أوجد (Brouwer) حلاً لمسالة نظرية الأقمار الصناعية بدون حساب كبح الغلاف الجوي.

4- في عام (1965) قدم (Escobal) طريقة لحساب العناصر المدارية بالاعتماد على الرصد من محطة أرضية واحدة عن طريق حساب زوايا الارتفاع والاتجاه للقمر الصناعي لثلاثة مواقع في المدار وسميت هذه الطريقة بطريقة إعادة التكرار المزدوج(Double r-iteration) حيث يقوم بفرض قيمة بعد القمر الصناعي عن مركز الأرض وأعادة التكرار للعملية للحصول على افضل النتائج وقد استخدمت هذه الطريقة من قبلنا بعد ما قمنا باشتقاق نموذج لحساب بعد القمر عن مركز الأرض بدلا من استخدام طريقة الفرضية له.

5- في عام (1970) قام كل من (Scheifele،Stiefel) بتطوير طريقة سميت بطريقة التنظيم المبنية على أساس تحويل معادلات الحركة إلى مصفوفة منظمة تعرف بـ(Ks-Transformation) والتي يتم فيها وصف معادلات الحركة بدلالة الطاقة للمدار. وبعد ذلك يتم إدخال قيم الاضطرابات التي تؤثر في حركة الأقمار الصناعية ضمن معادلة الطاقة للمدار.

6- في عـام (1981) قـام (Ananda) بوضـع تحليلات للتنبـؤ بأقمـار (GPS) الصناعية بصورة دقيقة حيث تم تطبيقها وكانت قابلية احتمالية الخطأ الكروية (SEP) تساوي (16) متر.

7- في عام (1985) قدم (Tadashi) طريقة عملية محسنة لتتبع القمر الصناعي بدقة عالية باستخدام الرصد البصري. حيث استخدم منظومة التلسكوب (S I T) كاميرا.

8- في عام (1986) قام (Takanori) بتطوير طريقة لحساب المدار بدقة باستخدام بيانات تتبع للقمر الصناعي حصل عليها من محطة أرضية واحدة. وتم اختبار الطريقة على قمر الاتصالات الياباني (Sakura) (CS) وأثبتت نجاحها حيث تم استخدام المحطة الأرضية (Koshima) لتتبع القمر باستخدام حزمة بتردد (614 GHz) واخذ قيم الارتفاع الزاوي (h) والاتجاه عن الشمال (A) خلال مدة (24) ساعة ثم تم حساب العناصر المدارية للقمر (CS).

9- في عام (1987) قام كل من (Hoots،France) بوضع حل تحليلي لمعادلات حركة الأقمار الصناعية باستخدام طريقة المعدل بتبسيط معادلات الحركة وتحويلها بدلالة العناصر المدارية واستخدام إحدى طرق التكامل العددي ومقارنة النتائج مع البيانات التي ترسلها خمسة أقمار صناعية.

10- في عام (1989) قدم (Sondach) حلاً تحليليا لمعادلات التحكم في الحركة ضمن مستوي الحركة باستخدام طريقة (KB-Method).

11- في عام (1989) أيضا درس (Prased) نظام حساب مدار أول قمر صناعي هندي لعمليات التحسس النائي (IRS) وحدد الدقة العالية له.

12- في عام (1990) قدم (Covault) طريقة البصريات الفوتغرافية لتتبع مركبة الفضاء السوفيتية باستخدام أشعة الليزر.

13-عام (1992) قدم (Craig) طريقة لتقدير مدارات الأقمار الصناعية بوجود قوة الاضطراب لملائمة قابلية التتبع للمحطة الأرضية.

14- في عــام (1992) أيــضا قــدم (Enrique) طــرق توافــق المــدار المائــل (Inclination) لزيـادة قابليـة التتبـع للمحطـة الأرضـية خـصوصا لمـدارات الأقمار الصناعية المتزامنة ارضياً (Geosychronous Orbit).

15- في عـام (1994) قـدم كـل مـن (Breiter،Metris) صـيغة تحليليـة بـشكل متسلـسلة متعـددة الحـدود تـستخدم في حـسابات مواقـع وسـرع الأقمـار الـصناعية في المـدارات الكبلريــة بدلالــة مـتغيرات (Hernard) حيــث اســتخدمت طريقتــان في التحليــل، الأولى باسـتخدام دوال بـزل(Bessel Function) والثانية تعتمد على تحويلات لي (Lie-Transformation).

16- في عام (1996) قدم (Jon) حلاً رياضيا لتحديد مـسارات الأقمـار الـصناعية الواقعــة تحــت تــأثير الاضــطراب باســتخدام معــادلات الحركــة بدلالــة الإحداثيات الديكارتية.

17- في عام (2003) قـام خالـد سـامي وجماعتـه بحـساب العناصـر المداريـة لقمـر صناعي واطئ الارتفاع تحت تـاثير كـبح الغـلاف الجـوي و تفلطـح الارض باستخدام مرشحات كالمن (Kalmin Filters).

(3-1) الاهــــداف العلمية :

وندرج في ادناه الاهداف العلمية التي حاولنا تحقيقها في مؤلفنا هذا وكما يلي:

1- وضع نموذج رياضي لحساب العناصر المدارية لقمر صـناعي مجهـول باسـتخدام محطتين للرصد البصري تحقق ثـلاث رصـدات مـن كـل محطـة في زمـن واحـد لثلاث مواقع للقمر الصناعي في مداره تتضمن رصدات المحطـة الأولى إحـداثيا الارتفاع (elevation) والاتجاه (Azimuth) وتتـضمن رصـدات المحطـة الثانيـة الاتجاه (Azimuth) فقط، ويتم ذلك عن طريق بناء برنـامج حاسـوبي لحـساب هذه العناصر.

2 – وضع نموذج رياضي لحساب العناصر المدارية لقمر صناعي مجهول باستخدام محطتين للرصد البصري تحقق ثلاث رصدات من المحطة الأولى ورصده واحدة من المحطة الثانية حيث تتضمن رصدات المحطة الأولى إحداثيا الارتفاع والاتجاه وتتضمن رصده المحطة الثانية الاتجاه فقط عن طريق بناء برنامج حاسوبي لهذا الغرض.

3 – حساب الإحداثيات الجغرافية للنقطة على الأرض التي تقع تحت القمر الصناعي مباشرة في لحظة رصده من المحطة وبناء برنامج حاسوبي لهذا الغرض.

4 – دراسة تغير كل من بعد القمر الصناعي عن مركز الأرض وسرعته المدارية وزوايا معدل الانحراف والانحراف الشاذ ومسار الطيران مع زاوية الانحراف الحقيقي ضمن دورة واحدة عن طريق بناء برنامج حاسوبي بالاعتماد على النتائج التي حصلنا عليها من الفقرة (1) أعلاه.

5 – دراسة تأثير تغير الانحراف المركزي ونصف المحور الكبير على بعد القمر الصناعي عن مركز الأرض وسرعته المدارية عن طريق بناء برامج حاسوبية بالاعتماد على نتائج الفقرة (1).

6 – دراسة تأثير تغير بعد نقطة الحضيض عن مركز الأرض على حجم وشكل المدار والسرعة المدارية عند الحضيض ومدة الدورة المدارية. عن طريق بناء برامج حاسوبية اعتمادا على نتائج اعلاه.

الفصل الثاني

انواع مدارات الاقمار الصناعية وتصنيفاتها

(2-1)تمهيد

(2-2)تصنيف مدارات الاقمار الصناعية

(2-2-1) تصنيف المدارات حسب الارتفاع

(2-2-2) تصنيف المدارات حسب زاوية الميل

(2-2-3) تصنيف المدارات حسب المهمة المتوخاة

(2-3)أمثلة على بعض المدارات المهمة

(2-4)أساسيات إقتفاء أثر الاقمار الصناعية

الفصل الثاني

انواع مدارات الاقمار الصناعية وتصنيفاتها

تمهيد:-

أن أهم الدراسات والاستكشافات التي حققها العلماء في الفضاء كانت بواسطة المحطات الأرضية العديدة وبواسطة البالونات الكبيرة التي أطلقت إلى أعالي الجو التي كشفت لهم بعض أسرار ومغاليق الأجواء البعيدة مما شجعهم على تطوير هذه البالونات واستبدالها بقذائف مماثلة تحمل مختلف الأجهزة حاولوا إطلاقها إلى أعالي الجو لتستقر فيه وتبعث لهم ما تحصل عليه من معلومات.

وقد تحقق ذلك لعلماء الفلك السوفيت في إطلاق أول قمر صناعي (سبوتنك-1-) في 4 - 10 -1957 حيث استقر في مدار حول الأرض مدته 96 دقيقة. ثم أعقبه القمرين الأمريكي الرائد والمستكشف (Majer and Explörar-1-) عام 1958 اللذان تم بواسطتهما اكتشاف مناطق فان ألن الإشعاعية المحيطة بالأرض. وعندما لمس العلماء الفوائد الكبيرة التي تحققت لهم من هذه المحطات الفضائية الصغيرة قاموا بتطويرها والإكثار من عددها وتشكيل مداراتها للحصول على معلومات أوسع وأدق عن الشمس وتأثيراتها والأرض وغلافها الغازي ومناخها.

فعند بداية عقد الستينات بداء السباق العلمي في ميدان الفضاء بالظهور حيث اتسعت وتنوعت الأهداف المتوخاة من إطلاق الأقمار الاصطناعية والتي شملت الاتصالات والبث التلفزيوني والتصوير والأنواء الجوية والأغراض العسكرية والملاحية كذلك الأغراض الفلكية مثل دراسة المنظومة الشمسية وما وراءها.

توضع الأقمار الصناعية في مدارات مختلفة حول الارض ويتم اختيار نوع المدار وفقا لمتطلبات المهمة فبعض هذه المدارات دائرية أو قطع ناقص وان شكل وطول المدار يحدد زمن الدورة (Orbital period) فيمكن أن تكون قليلة (88) دقيقة ويمكن أن تكون

طويلة لعدة أيام وهنالك عامل آخر مهم هو ميل المدار عن خط الاستواء. سنتطرق في هذا الفصل إلى أصناف مدارات الأقمار الصناعية وبعض المدارات المهمة، وكذلك نذكر أساسيات رصد الأقمار الصناعية والمعوقات وافضل الطرق لتجاوزها .

(2-2) تصنيف مدارات الأقمار الاصطناعية

(Artificial Satellite Orbits Classification) -:

بعد أن تطلق الأقمار الصناعية بواسطة صواريخ دافعة تدخل مسارها المرسوم لها نظريا المشابه لمسار أقمار الكواكب السيارة ألا انه يكون قريب من سطح الأرض وأنها تتعرض إلى اضطرابات مختلفة تؤدي إلى انحرافها عن مسارها المرسوم مما يستوجب تعويض هذا الانحراف عن طريق استخدام الطاقة الشمسية عادة وتقنيات ميكانيكية مبرمجة لذلك غالبا ما تكون مداراتها بشكل قطع ناقص وتصنف اعتمادا على عدة أسس منها الارتفاع عن سطح الأرض أو الميل عن دائرة الاستواء السماوي أو حسب الاستخدام وفيما يلي هذه التصنيفات:-

(2-2-1) تصنيف المدارات حسب الارتفاع :-

تصنف مدارات الأقمار الصناعية حسب ارتفاعها إلى أربعة أنواع هي:

1- المدار الأرضي المنخفض Low Earth Orbit (LEO):

يتراوح ارتفاع الأقمار الصناعية في مثل هذه المدارات بين (300-800) كم وزمن دورتها اقل من 225 دقيقة كحد أعلى وتكون سرعتها عالية تصل إلى (7.6) كم/ ثانية تقريبا للتغلب على قوة الجاذبية الأرضية بسبب قربها من سطح الأرض. وبسبب هذه السرعة العالية فلا يمكن رصدها من المحطة الأرضية اكثر من (10) دقائق وهي المدة التي تقطع بها القبة السماوية التي يراها الراصد. وبسبب قربها من سطح الأرض فأن هذه الأقمار تتعرض إلى اضطرابات مدارية ناتجة عن قوة كبح الغلاف الجوي وتأثير تفلطح الأرض لذلك فهي أقمار غير مستقرة وقصيرة العمر نسبيا ومن أمثلتها أقمار التحسس النائي والطقس والتصوير والاستطلاع.

2- المدار الأرضي المتوسط (Mid-Earth Orbit (MEO:

يتراوح ارتفاعه ما بين (10000-20000) كم ومدة دورة القمر الصناعي فيه 12ساعة تقريبا. أي انه يكمل دورتين في اليوم الواحد لذلك يسمى أحيانا بالمدار شبه المتزامن (Semi-Synchronous Orbit). ويمكن رصد القمر الصناعي في هذا المدار من المحطة الأرضية لمدة ساعتين أو اكثر وهي المدة التي يقطع بها القمر القبة السماوية التي يستطيع أن يراها الراصد. ومن أمثلـه هـذه الأقمار هـي أقمار نظام الموضعية العالمي (Global Positioning System)(GPS) وأقمار (GLONASS) التي تضم 24 قمرا صناعيا وضعت على ارتفاع يقارب 20000 كم وتدور حول الأرض مرتين باليوم. وتستخدم لأغراض مدنية وعسكرية وكذلك تحديد مواعيد شروق وغروب الشمس ومواقعها.

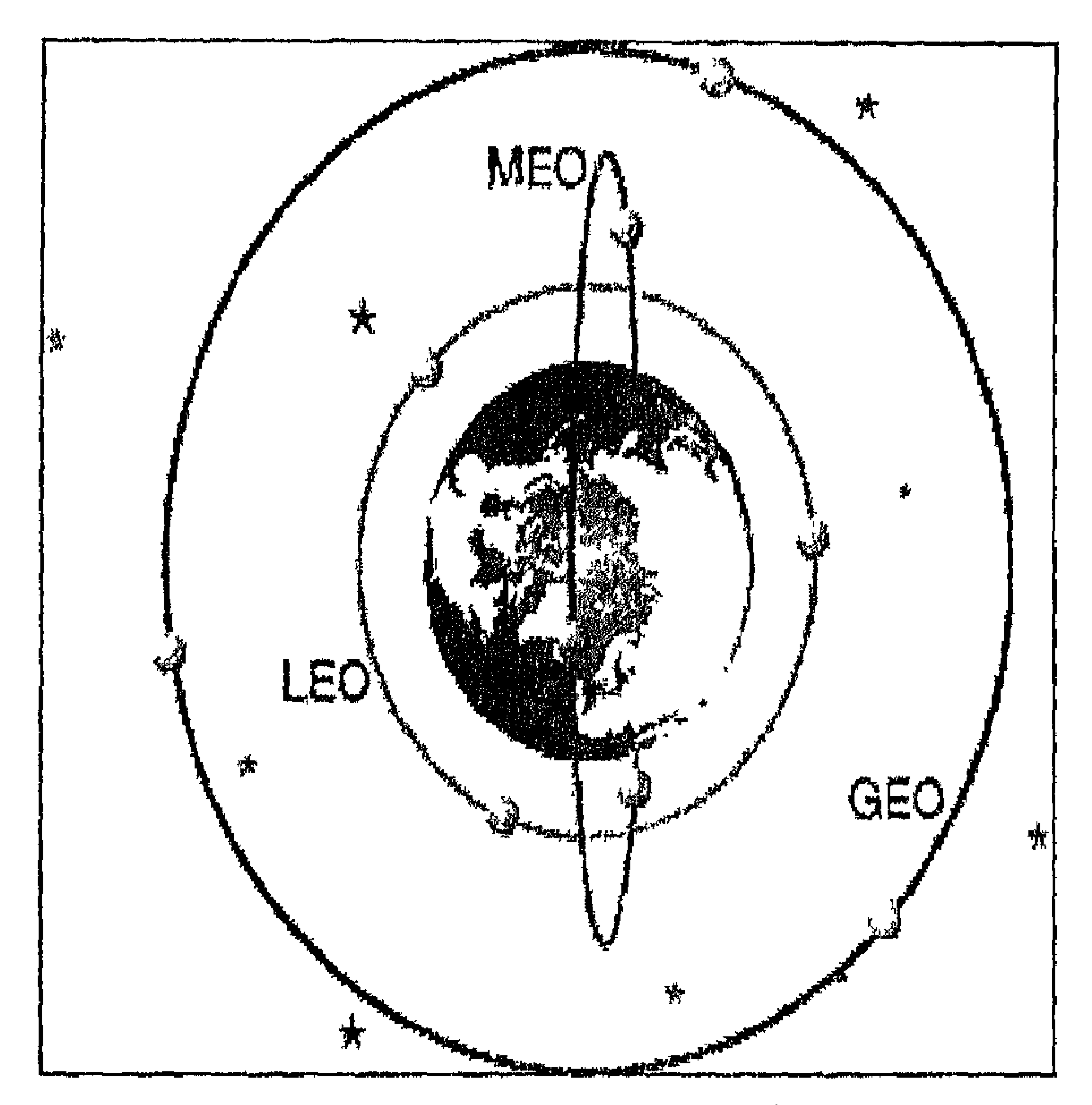
3- المدار الأرضي العالي (High-Earth Orbit(HEO:

يبلغ ارتفاع هذه المدارات قرابة (36000) كيلومتر، حيث يكمل القمر دورة واحدة خلال 24 ساعة لذلك تكون سرعتها مساوية لسرعة الأرض فتبدو ثابتة في السماء وتستخدم هذه الأقمار في الاتصالات والبث التلفزيوني ومن أمثلتها مدار التزامن الأرضي والمدار الثابت.

4 - المدار الأرضي فوق العالي الارتفاع (Super High-Earth Orbit(SHEO:

يبلغ ارتفاع هذا المدار أكثر من (36000) كم وزمن دورته اكثر من مدة اليوم النجمي والبالغة (23) ساعة و 56 دقيقة 4 ثانية تقريباً. تعد هذه الصفات مميزة بالنسبة للمدار الأرضي العالي وكذلك يعرف بالمدار فوق التزامن (Super Synchronous Orbit).

أن الأقمار التي توضع في هذه المدارات تكون خارج تأثير المجال المغناطيسي الأرضي (Magnetosphere) وضعف تأثيري تفلطح الأرض وكبح الغلاف الجوي لذلك فهي اكثر استقرارا من سابقتها وأطول عمرا. واغلب هذه الأقمار تستخدم للأغراض الفلكية والشكل (2-1) يمثل المدارات حسب الارتفاع.



الشكل رقم (2-1) يبين كلاً من المدار الأرضي المنخفض والمدار المتوسط والمدار العالي

(2-2-2) تصنيف المدارات حسب زاوية الميل:-

يمكن تصنيف المدارات حسب زاوية ميلها عن دائرة الاستواء إلى ثلاثة أنواع هي:

1- المدار الاستوائي Equatorial Orbit (EO):

هو المدار الذي يكون ميله عن دائرة الاستواء قريبا من الصفر ويسمى بالمدار الثابت (Geo Stationary Orbit) (GEO) عندما تكون سرعة القمر الزاوية مساوية لسرعة برم الأرض وبنفس اتجاه حركتها وبذلك يبقى القمر الصناعي فوق منطقة معينة على خط الاستواء أثناء دورانه. ويمكن أن يرصد القمر من المحطة الأرضية بشكل واضح. ويبلغ معدل ارتفاعه بحدود (36000) كم. تستخدم هذه الأقمار لغرض

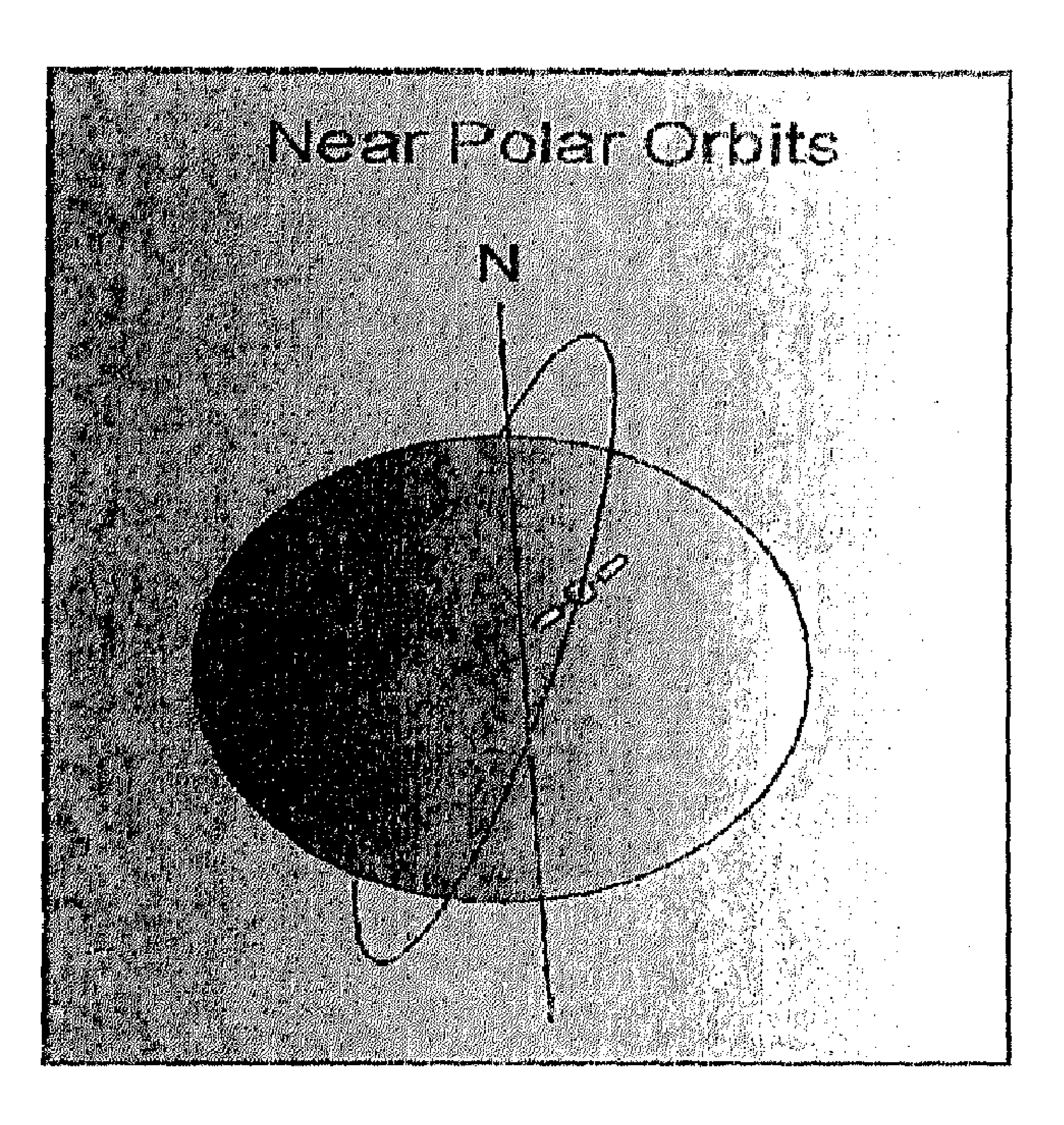
الاتصالات والبث التلفزيوني ومن أمثلتها أقمار (SMS) الأمريكية وأقمار (Gose) وقمر (Metosat) الأوربي.

2- المدار ذو الميل المنخفض Low Inclination Orbit (LIO) :

يكون عادة مدار ارضي واطئ الارتفاع وزاوية ميله عن دائرة الاستواء أقل من (45°) درجة ويعرف أحيانا بالمدار المائل (Inclined Orbit) وفيه يظهر القمر شمال أو جنوب خطوط العرض الجغرافية ومن الممكن ملاحظته ورصده من المحطة الأرضية لبعض الدورات بسبب تغير مساره ومن أمثله هذا المدار مدارات أقمار التحسس النائي والاستطلاع والتصوير.

3- المدار القطبي Polar Orbit (PO):

هو المدار الذي يكون ميله عن دائرة الاستواء مساويا إلى (90°) درجة تقريباً، حيث يمر القمر بالقطبين الشمالي والجنوبي الأرضي وبذلك يسمح بمشاهدة كل جزء من الأرض وهي تدور من تحته. حيث يكون في كل دورة له فوق عدد محدد من خطوط الطول الجغرافية تختلف من الدورة السابقة له بسبب دوران الأرض. وتستخدم هذه الأقمار لمراقبة بيئة الكرة الأرضية. وقياس درجة حرارة الغلاف الجوي وتركيز الأوزون في الطبقة الزمهريرية (STRATOSPHERE). ومن أمثلتها القمر الاصطناعي الأمريكي نمبوس 1 والقمر لاندسات 1 الذي أطلق بمدار دائري ومائل عن القطب الشمالي والجنوبي بزاوية ميل مقدارها (9°) درجات وبارتفاع (900) كم كما في الشكل (2-2).



الشكل رقم (2-2) يبين المدار القطبي.

(2-2-3) تصنيف المدارات حسب المهمة المتوخاة من القمر الصناعي:-

يمكن أيضا تصنيف المدارات حسب مهمة القمر الصناعي التي أطلق من اجلها حيث تعتمد على الارتفاع والميل والأجهزة المستخدمة مع القمر والمدارات هي:

1- مدارات أقمار التصوير والاستطلاع.

2- مدارات أقمار التحسس النائي.

3- مدارات أقمار الأنواء الجوية والطقس.

4- مدارات أقمار الهواة.

5- مدارات أقمار الاتصالات والبث التلفزيوني.

6- مدارات أقمار دراسة الشمس والمجموعة الشمسية.

7- مدارات أقمار دراسة أعماق الكون السحيق.

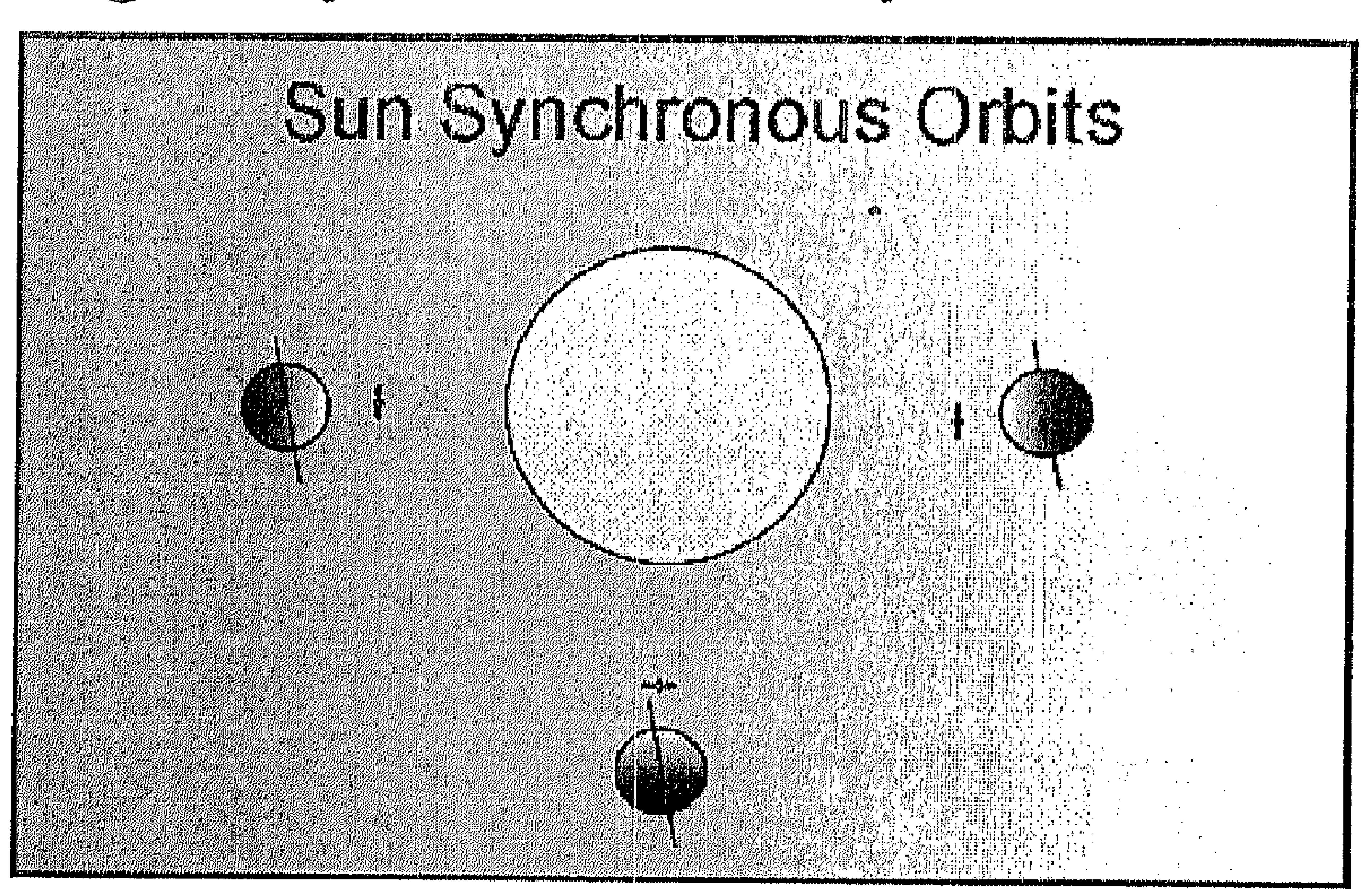
8- مدارات اخرى

(3-2) أمثلة على بعض المدارات المهمة :

في أدناه بعض المدارات المهمة للأقمار الصناعية المعروفة عالميا والمستخدمة من قبل اغلب الدول:-

1- المدار المتزامن الشمسي Sun-Synchronous Orbit:

موقع القمر في هذا المدار يكون متزامن مع اتجاه الشمس بحيث تبقى الزاوية بينهما ثابتة كما في الشكل رقم (2-3) ويمكن للقمر أن يمر من فوق مقطع من الأرض في الوقت نفسه من كل يوم. وبما أن السنة مكونه من (365) يوماً والكرة مكونه من (360^0) درجة فأن مدار القمر الصناعي يتحرك درجة واحدة يومياً تقريبا. ومن أمثله هذه الأقمار هي سلسلة أقمار لاندسات ونمبوس وهي خاصة بالتصوير والتحسس النائي والاستطلاع.



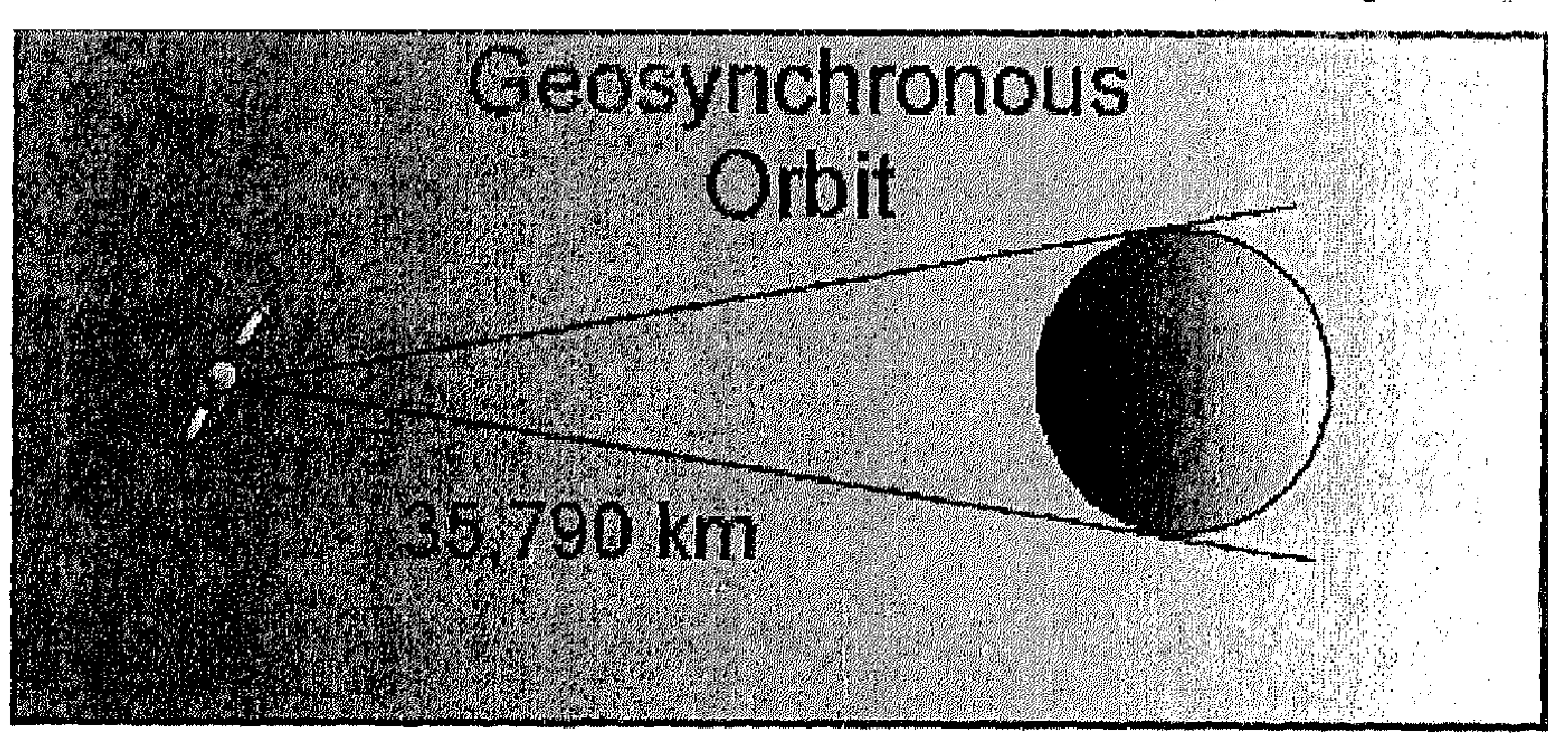
الشكل رقم (2-3) يبين المدار المتزامن الشمسي

2- المدار الرنان Resonant Orbit:

وهو المدار الخاص بالأقمار الصناعية التي تكمل عدد من الدورات في اليوم الواحد. فمثلا المدار الرنان من المرتبة الرابعة عشرة فيه يكمل القمر الصناعي أربعة عشرة دورة خلال (24) ساعة وارتفاعه يكون ما بين (150-500) كم. وتستخدم أقمار هذه المدارات لأغراض الدراسة الجيوفيزيائية (علم دراسة سطح الأرض) والتحسس النائي نتيجة لمروره المتكرر فوق نفس المكان وتمتاز هذه الأقمار بعمرها القصير بسبب ارتفاعها الواطئ.

3- المدار المتزامن الأرضي Geosynchronous Earth Orbit:

أقمار هذه المدارات تكمل دورة واحدة حول الأرض يوميا وبنفس اتجاه برم الأرض. لذلك فأن سرعتها مساوية لسرعة دوران الأرض مما يجعل القمر ثابت فوق منطقة معينة دائما. أن ارتفاعات هذه المدارات عالية جدا تصل إلى (36000) كم وشذوذه المركزي قريب من الصفر أي انه شبه دائري، ونصف المحور الكبير يصل إلى (42000) كم وزاوية ميله عن دائرة الاستواء منخفضة وتعادل (5^{o}) درجات تقريبا. أن عمر هذه الأقمار طويل نسبيا يصل إلى (20) سنة لذلك تستخدم للاتصالات والبث التليفزيوني كما في الشكل (2-4).



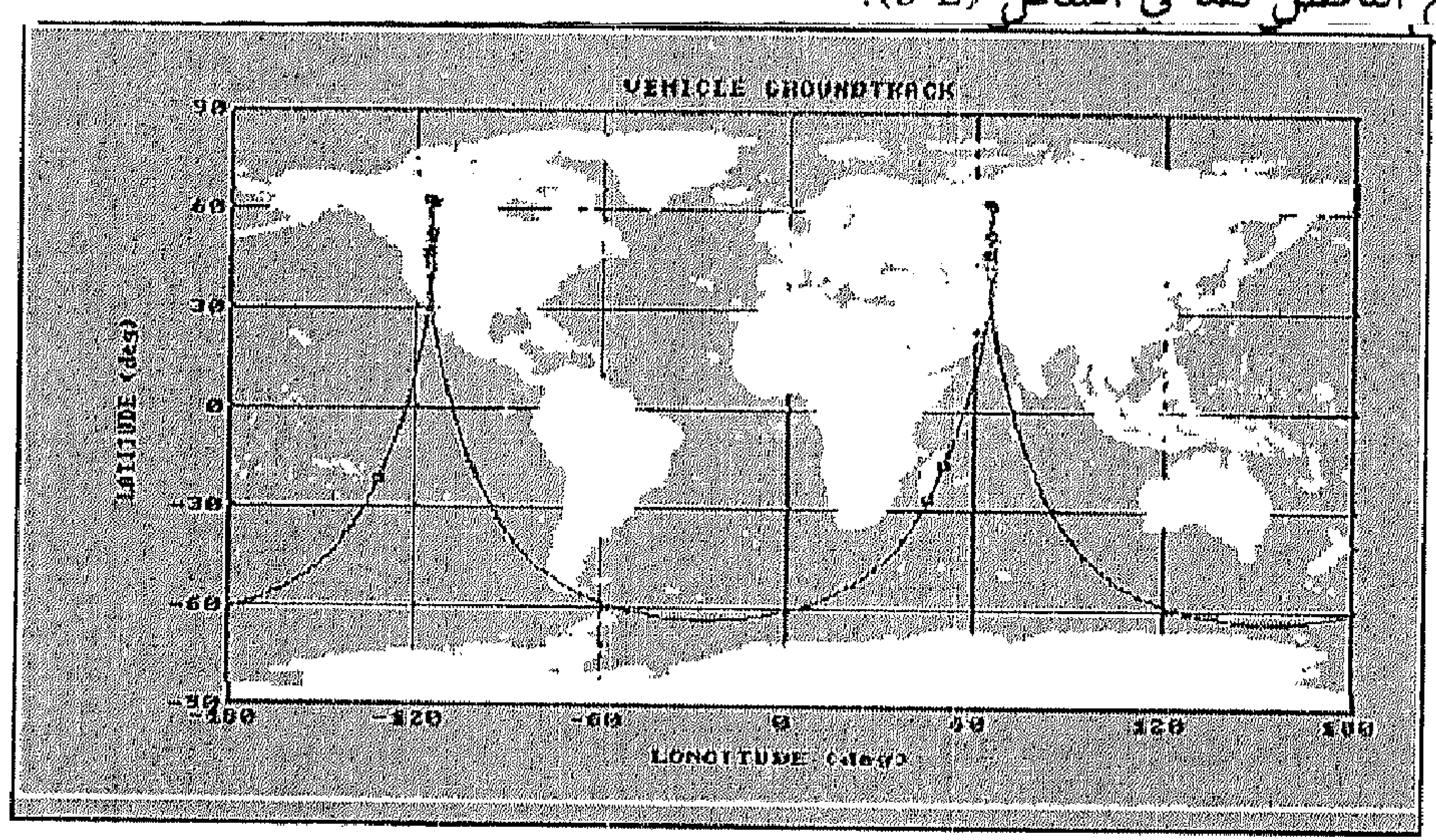
الشكل رقم (2-4) يبين المدار المتزامن الأرضي

4- المدار الثابت Stationary Orbit:

وهو حالة خاصة من المدار المتزامن الأرضي لكن ميله عن خط الاستواء يساوي صفر لذلك يبقى القمر دائما فوق خط الاستواء وتستخدم هذه الأقمار للاتصالات والبث التلفزيوني ومن أمثلتها أقمار (SMS) وأقمار (METOSAT).

5- مدار مولينيا Molniya Orbit:

قام العلماء الروس بتصميم هذا المدار عام (1965) الذي يضم ثلاثة اقمار فرق الطور بينها (°120) درجة لغرض تغطية الاتصالات والبث الإذاعي والتلفزيوني في جميع مناطق روسيا. قيمة الانحراف المركزي عالية تبلغ (0.73) وارتفاع الحضيض بين (1000-2000) كم ومدة دورته (12) ساعة وميله عن دائرة الاستواء (°63.4) درجة. يوضع الحضيض في نصف الكرة الجنوبي لكي يكون الاوج في الجزء الشمالي منها فوق روسيا لكي يمكن من الاستفادة من خدماتها أطول فترة ممكنة اعتماداً على خصائص مدار القطع الناقص كما في الشكل (2-5).

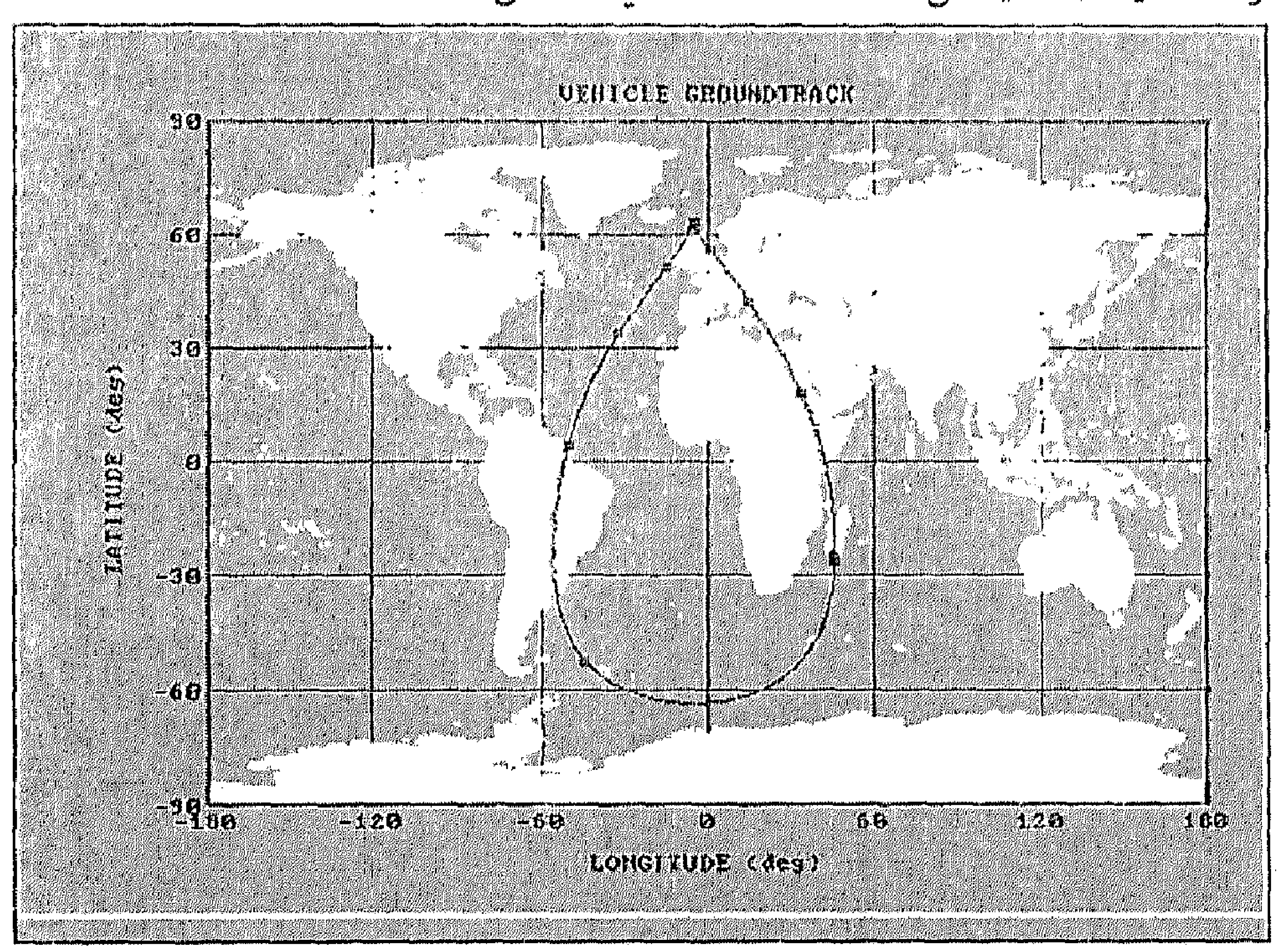


الشكل رقم (2-5) يبين مدار مولينيا

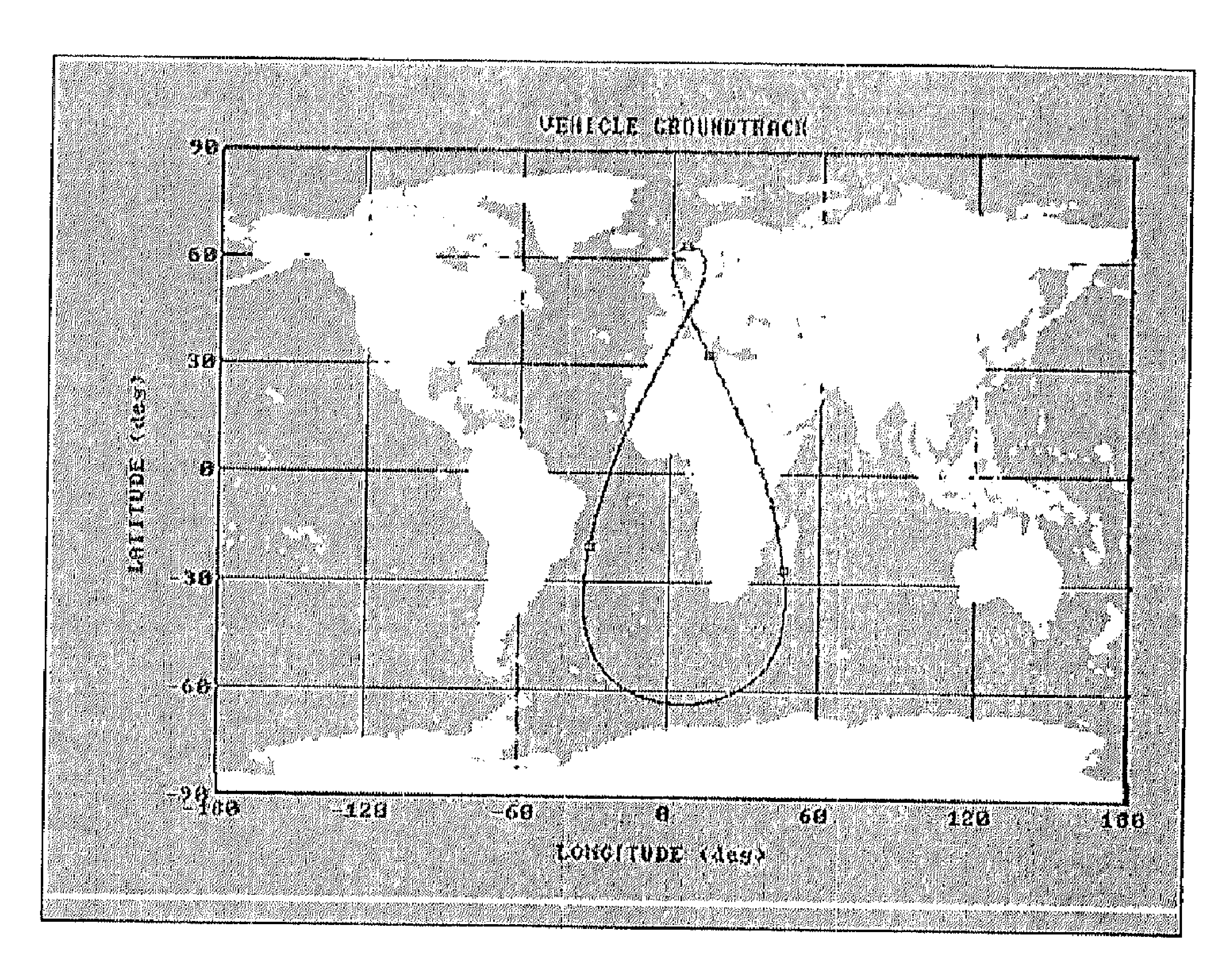
6- مدار تندرا Tundra Orbit:

صمم هذا المدار العلماء الكنديون عام (1980) لاستخدامه في منظومة الاتصالات العسكرية، ويتكون من منظومتين تندرا -1- المكونة من قمرين وتندرا -2- المكونة من ثلاثة أقمار.

ان المنظومة الأولى تجعل القمر الواحد يعمل مدة (12) ساعة فوق قارة أوربا. والمنظومة الثانية تجعله يعمل (8) ساعات كما في الشكل (A-6-2) و(B-6-2).



الشكل رقم (A-6-2) يبين مدار تندرا -1-



الشكل رقم (B-6-2) يبين مدار تندرا -2-

7- المدار الشمسي Solar Orbit:

وهو المدار الذي يوضع فيه القمر الصناعي لدراسة الشمس والكشف عـن الريـاح الشمسية والتحذير منها. حيث يزود القمر الصناعي بطاقة كافية لمغادرة مـدار الأرض إلى المدار الشمسي ومن أمثلتها سـفينة الفـضاء بـونير(pioneer). وهنالـك حالـه خاصـة مـن المدار الشمسي هو مدار الطـوق(Halo Orbit) الـذي يقـع في نقطـة الجاذبيـة الثابتـة بـين الأرض والشمس.

8- ما بعد المدار الشمسي Beyond Solar Orbit:

عند إعطاء القمر الصناعي طاقة كافية لمغادرة الأرض ثم لمغادرة المجموعة الشمـسية فانه يذهب إلى أعماق الكون السحيق ليكشف أسراره ومـن أمثلـة هـذه المركبـات المركبـة

الفضائية المسافر (Voyager) والتي غادرت المجموعة الشمسية في عام (1998) مستفيدة من جاذبية المشتري.

(4-2) أساسيات اقتفاء اثر الأقمار الصناعية:

لغرض اقتفاء وتتبع اثر أي قمر صناعي في السماء لا بد من تحديد بعض الأساسيات الرئيسية المهمة لتحقيق ذلك وكما يلي:

1 -لا بد أن تكون هندسة المدار بشكل يجعل القمر الصناعي يمر في أفق الراصد.

2 -يجب أن يكون حجم القمر الصناعي كبير نسبيا لكي يمكن رؤيته وتمييزه.

3 -يجب أن يكون لمعان القمر الصناعي كافي لكي يلاحظ من سطح الأرض.

4 - يجب أن يكون القمر الصناعي قريبا نسبيا من سطح الأرض بحدود اقل من 1000 كم.

5 - يجب أن يكون للراصد بعض الخبرة في عملية الرصد وقدرة على متابعة حركة القمر واخذ الرصدات الحقيقية بدقة متناهية.

أن العامل المهم الذي يتحكم بالمدار هو ميله عن دائرة الاستواء (Inclination) فبينما يدور القمر في مداره فان الأرض تدور حول محورها من هذا نجد أن الراصد على سطح الأرض يستطيع رؤية القمر الصناعي يتحرك باتجاه معين وبعد فترة معينة يرى القمر يتحرك باتجاه معاكس. وبسبب دوران الأرض فأنه قد يمر القمر الصناعي في أفق الراصد نهارا أو ليلا. ولغرض رؤية القمر الصناعي بصورة واضحة فيجب أن يكون ميل القمر عن دائرة الاستواء قريبا أو مساويا إلى خط عرض الراصد. حيث يرى الراصد القمر الصناعي يتحرك من الغرب إلى الشرق (ما عدا حالات قليلة معاكسة) لأنه في عملية إطلاق الأقمار الصناعية يستفاد من السرعة الدورانية للأرض لتقليل متطلبات طاقة الانطلاق لذلك يكون الإطلاق باتجاه الشرق.

ومن اجل تحديد موقع أي قمر صناعي فيجب أن يكون للقمر سرعة ظاهرية اعتيادية يتحرك بها في سماء الراصد. وهذه السرعة هي دالة لبعد القمر الصناعي عن

الراصد وهذا البعد يسمى المدى (Rang) وهي المسافة الخطية بين موقع القمر وموقع الراصد.

فعندما يكون القمر الصناعي مباشرة في سمت الراصد فأنه يكون في اقرب نقطة أليه ويمتلك أعلى سرعة ظاهرية وأعلى ارتفاع عن الأفق (Elevation) وهي الزاوية المقاسه من أفق الراصد إلى موقع القمر ومع تناقص ارتفاع القمر الصناعي فأنه يبتعد عن الراصد ويبدو بطيئا بسبب زيادة المدى. وعندما يكون قرب الأفق فأنه سيتحرك ببط شديد وبلمعان خافت. والنسبة بين سرعة القمر الظاهرية في سمت الراصد وسرعته عند الأفق هي (1/20) عندما يكون بعد القمر عن سطح الأرض اقل من 3000 كم لذا فان افضل مكان للرصد هو عندما يكون القمر على ارتفاع 45° درجة عن الأفق بالنسبة للراصد فتكون سرعته الظاهرية متوسطة ولمعانه متوسط أيضا.

أما الأقمار التي تبعد اكثر من 3000 كم عن سطح الأرض فأنها تبدو بطيئة جدا ولا يمكن رصدها بسهولة ألا إذا مرت قرب إحدى النجوم الثابتة.

أن للمعان القمر دور كبير في عملية رصده ويقاس مقدار لمعان القمر الصناعي بمقياس اللمعان الفلكي. فأن القمر الصناعي الكبير اللمعان تكون قيمة لمعانه +1 في حين أن القمر الصناعي واطئ اللمعـان يكون بحدود +5 أو +6 حيث تكون فرصة رصده ضعيفة. ومن المعادلة (2-1)التالية يمكن تحديد القدر الضوئي للقمر الصناعي الذي يعتبر هو مقياس اللمعان:

$$M_v = -11.6 - 2.5 \mathrm{Log}\,(A'\varepsilon/p'^2) \;\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\; (1\text{-}2)$$

حيث M_v هو القدر الضوئي للقمر الصناعي الناتج من انعكاس أشعة الشمس الساقطة عليه و A'هي المساحة السطحية (الفعالة) للقمر مقاسه بالأمتار المربعة، وε هي انعكاسية جسم القمر الصناعي، وp' هي بعد القمر عن الراصد. فإذا أخذنا قمر صناعي مساحته السطحية 1 م^2 وانعكاسيته (0.3) وعلى مسافة 300 كم عن الراصد يكون قدره الضوئي يساوي (2) وهو ما يعادل القدر الضوئي للنجم القطبي والذي يمكن رؤيته بسهولة. أن اغلب الأقمار الصناعية تتراوح أبعادها ما بين بضعة أمتار إلى عشرات

الأمتار والأسطح الخارجية لها تغلف بمواد ذات انعكاسية عالية مثل الذهب والألمنيوم مما يجعل انعكاسيتها تصل إلى 50٪ لهذا نجد أن القدر الضوئي لقمر صناعي مساحته 30 م^2. وعلى ارتفاع 150 كم يساوي القدر الضوئي لكوكب الزهرة والبالغ (−3) وإذا كان ارتفاع نفس القمر 1500 كم فأن لمعانه يكون بقدر لمعان النجم القطبي الواضح للعيان في السماء.

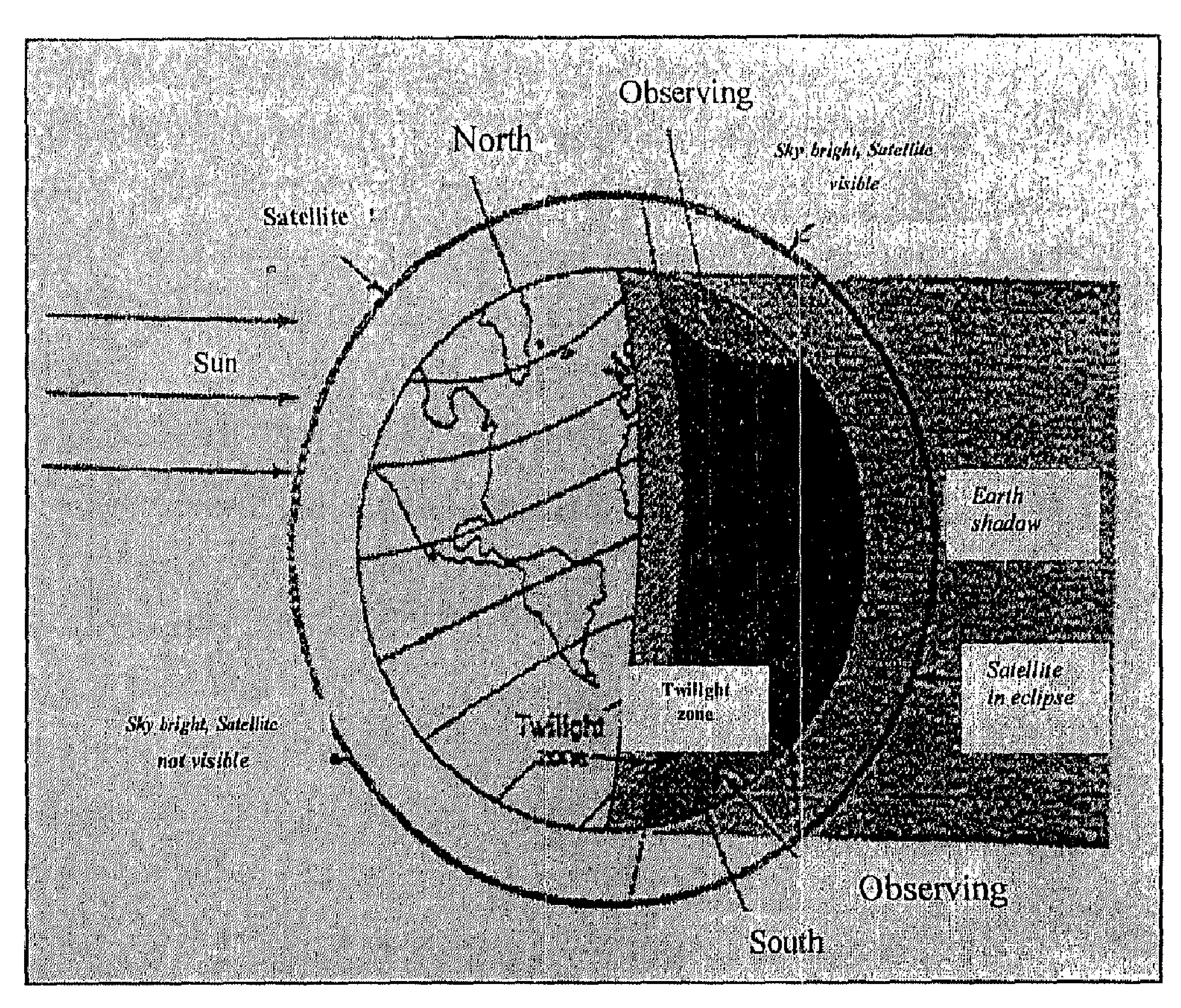
وهنالك مؤثر أخر على قيمة اللمعان بالنسبة للقمر الصناعي ألا وهو زاوية الطور(phase angle) التي يمر بها القمر وهي الزاوية بين الشمس والقمر الصناعي بالنسبة إلى الراصد على سطح الأرض بحيث إذا كانت زاوية الطور صفر فان القمر يكون في المحاق. وعندما تكون زاوية الطور 50° يكون لمعان القمر الصناعي اخفت بدرجتين من لمعانه الأقصى المحتمل في حين يكون عند الزاوية 130° اقل بقيمة0.25من لمعانه الأقصى الذي يقع في زاوية الطور 180° لكن في هذه الزاوية لا يمكن أن يرصد القمر لأنه سيكون في حالة خسوف وهنالك مؤثر أخر على لمعان القمر هو دوران القمر الصناعي حول محور بعيد عن مركزه وهو دوران غير مسيطر عليه.

وإذا أردنا رصد جيد للقمر الصناعي فلا بد أن تكون ظروف الرصد مناسبة. فلا يمكن الرصد بصورة جيدة في حالة وجود قمر منير في السماء لأنه يفقد الراصد5-4 درجات لمعان في حالة إذا كان القمر بدر وكذلك إذا كان هنالك بعض الغيوم الخفيفة أو الدخان الضعيف الذي يكثر في سماء المدن. لذلك يحتاج رصد الأقمار الخافته إلى ظروف مثالية مثل سماء مظلمة بعيده عن أنوار وتلوث المدينة وعدم وجود القمر (The Moon).

أن افضل وقت لرصد الأقمار الصناعية الواطئة هو خلال الساعتين الأوليتين بعد الغروب والساعتين الأوليتين قبل الشروق. بصورة عامة يجب أن تكون الشمس بحدود 12 درجة تحت الأفق في أثناء عملية الرصد كما في الشكل (2-7).

☐

أن ارتفاع ظل الأرض يتغير مع الزمن فيزداد مع تقدم الوقت إلى أن يصل إلى اعظم قيمة له عند منتصف الليل بالتوقيت المحلي ثم يبدأ بالتناقص إلى أن يتلاشى مع الفجر ويعتمد طول زمن رصد القمر الصناعي وهو يمر في السماء على مدى تخلص القمر من ظل الأرض في أثناء دورانه وهنا يدخل عامل البعد عن سطح الأرض فإذا كان بعد القمر 200 كم عن سطح الأرض فأنه سيقطع السماء من أفق إلى أفق خلال سبعة دقائق أما إذا كان بعده 500 كم فأن هذا الوقت سيرتفع إلى 11 دقيقة وإذا كان البعد 2000 كم فأنه يحتاج إلى 29 دقيقة لكي يقطع سماء الراصد. وهذا الزمن يساعدنا على تخمين بعد القمر عن سطح الأرض في حالات أخرى إذا افترضنا بأن المدار دائري.



الشكل رقم (2-7) افضل وقت للرصد هو خلال الساعتين الأوليتين بعد الغروب والساعتين الأوليتين قبل الشروق

الفصل الثالث

أنظمة الاحداثيات والحركة المدارية

(3-1)تمهيد

(3-2)أنظمة الاحداثيات

(3-3)مدارات القطع المخروطي

(3-4)معاملات القطع الناقص

(3-5)العناصر المدارية

(3-6)تحويل أنظمة العناصر المدارية

(3-6-1) تحويل النظام التقليدي الى النظام الديكارتي

(3-6-2) تحويل النظام الديكارتي الى النظام التقليدي

(3-6-3) تحويل النظام الكروي الى النظام الديكارتي

الفصل الثالث

أنظمة الاحداثيات والحركة المدارية

(3-1) تمهيد:

في هذا الفصل سيتم التطرق إلى بعض أنظمة الإحداثيات المستخدمة لتحديد موقع أي جسم في الفضاء نسبة إلى مركز الأرض والعلاقة بين هذه الإحداثيات ومدارات القطع المخروطي ومعاملات مدار القطع الناقص الذي يمثل اغلب مدارات الأقمار الصناعية. وأنظمة العناصر المدارية له وتم تناول التحويل بين هذه الأنظمة باستخدام مصفوفات التدوير المعتمدة على قيم زوايا اويلر (i، Ω، ω) واستخدام مركبات الزخم الزاوي للحصول على العناصر المدارية وكما يأتي:

(3-2) أنظمة الإحداثيات:

لغرض تحديد موقع أية نقطة على سطح الأرض فأننا نستخدم حساب إحداثيتين هما خطي العرض والطول (Latitudes and longitudes) المحسوبين من دائرة الاستواء الأرضي (Equator) والدائرة العمودية عليها بين بالشمال والجنوب الجغرافي وتمر أيضا بمنطقة كرينتش في بريطانيا والتي تسمى خط كريتش (Greenwich) حيث آن خط الطول يحسب شرقا أو غربا من خط كرينتش وخط العرض هو الإزاحة الزاوية للنقطة شمال أو جنوب خط الاستواء مقاسه بالدرجات. ولكن لغرض حساب موقع أي جسم في السماء فأن ذلك يتطلب إحداثيات أخرى وهي عديدة ومختلفة من نظام إحداثيات لاخر. وسنتناول في هذا الفصل ثلاث منها وهي الإحداثيات البروجية والاستوائية والأفقية حيث استمد كل نظام في تسميته من المستوي الأساسي المستخدم. هذه الإحداثيات تستخدم في عملية رصد وتحديد موقع أي جرم في السماء وهي كما يلي:

1- النظام البروجي Ecliptic System:

أن هذا النظام قديم جدا ويستخدم للأجرام السماوية والدائرة الأساسية في هذا النظام هي دائرة البروج التي يمكن تعريفها بأنها المسار الظاهري للشمس في مركز منطقة البروج والتي تميل عن دائرة الاستواء السماوي بزاوية ($23°.27'$) تقريبا والاحداثيان المستخدمان هما خط الطول البروجي (λ) الذي يمثل بعد نقطة التقاء الدائرة العمودية على دائرة النظام المارة بالجسم (المراد تعين موقعه) مع دائرة البروج عن نقطة الاعتدال الربيعي التي تمثل نقطة تقاطع دائرة البروج مع دائرة الاستواء السماوي وتقاس (λ) بالدرجات باتجاه الشرق حيث ($360° \geq \lambda \geq 0°$) الإحداثي الأخر هو خط العرض البروجي (β') ويمثل المسافة الزاوية بين موقع الجسم ودائرة البروج حيث ($90° \geq \beta' \geq 0°$) كما في الشكل (3-1).

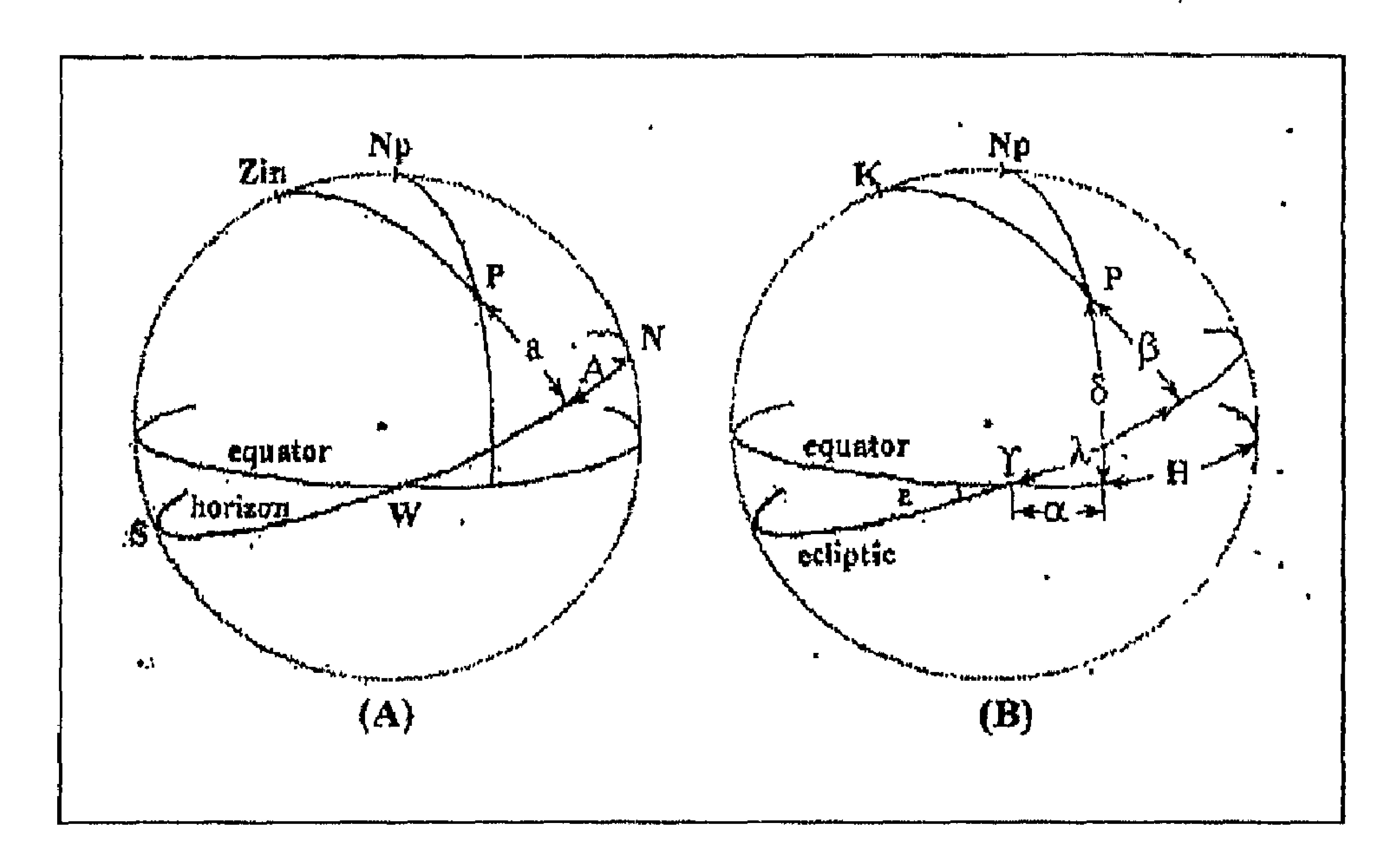
2- النظام الأفقي Horizon System:

في هذا النظام الدائرة الأساسية هي دائرة أفق الراصد والاحداثيان هما الارتفاع الزاوي للجسم عن الأفق (h') Elevation الذي يقاس بالدرجات وأجزاءها تتراوح ما بين ($90° \geq h' \geq 0°$) والاتجاه الأفقي (A) Azimuth الذي يمثل الإزاحة الزاوية المحصورة بين دائرة الزوال للراصد والدائرة الراسية المارة بالجسم وتقاس على دائرة الأفق من اتجاه الشمال الجغرافي وقيمتها تتراوح بين ($360° \geq A \geq 0°$) كما مبين في الشكل (3-1).

يعتمد هذا النظام على دائرة الاستواء السماوي التي تكون امتداد لدائرة الاستواء الأرضي. وإحداثيات هذا النظام هي الميل (δ) Declination الذي يمثل البعد الزاوي للجسم عن دائرة الاستواء ويقابل خط العرض الجغرافي. ويقاس بالدرجات وتتراوح قيمته ($-90° \leq \delta \leq 90°$) والأخر هو زاوية الساعة (H) Hour Angle التي تمثل الإزاحة الزاوية المحصورة بين دائرة الزوال. الدائرة الراسية المارة بالجسم وتقاس بوحدات الزمن. $24^h \geq H \geq 0^h$ وتقابل $360° - 0°$، والمسافة بين الدائرة الراسية المارة بالجسم ونقطة الاعتدال الربيعي تسمى المطلع المستقيم (α) Right Ascention وهو يقابل خط

الطول الجغرافي لكنه يقاس من جهة واحدة كما في الشكل (3-1) وان مجموع زاوية الساعة والمطلع المستقيم يمثل الزمن النجمي Sidereal Time:

$$S.T = \alpha + H \quad (3\text{-}1A)$$



الشكل رقم (3-1) يمثل أنظمة الإحداثيات

- **التوقيت العالمي Universal Time(U.T)**

وهي الزاوية المحصورة بين خط طول كرينتش وخط زوال الشمس مقاسه بوحدات الزمن ويرتبط مع الزمن النجمي بالعلاقة التالية:

$$S.T = U.T \times 1.002738 + T_0 \quad (3\text{-}1B)$$

$$T_0 = 0.0657098 \times Day - B \quad (3\text{-}1C)$$

حيث B نحصل عليها من الجداول الفلكية، Day تمثل عدد أيام من بداية السنة.

4- تحويل الإحداثيات الاستوائية إلى الأفقية وبالعكس:

يمكن الاستفادة من قيم الإحداثيات السابقة لاستخراج الإحداثيات المجهولة من خلال العلاقات التالية على شرط أن تكون زاوية خط عرض الراصد ϕ معلومة. حيث نلاحظ من الشكل (3-2) المثلث الكروي المتآلف من القطب الشمالي (P) والسمت (Z مع الجسم X) نجد أن:

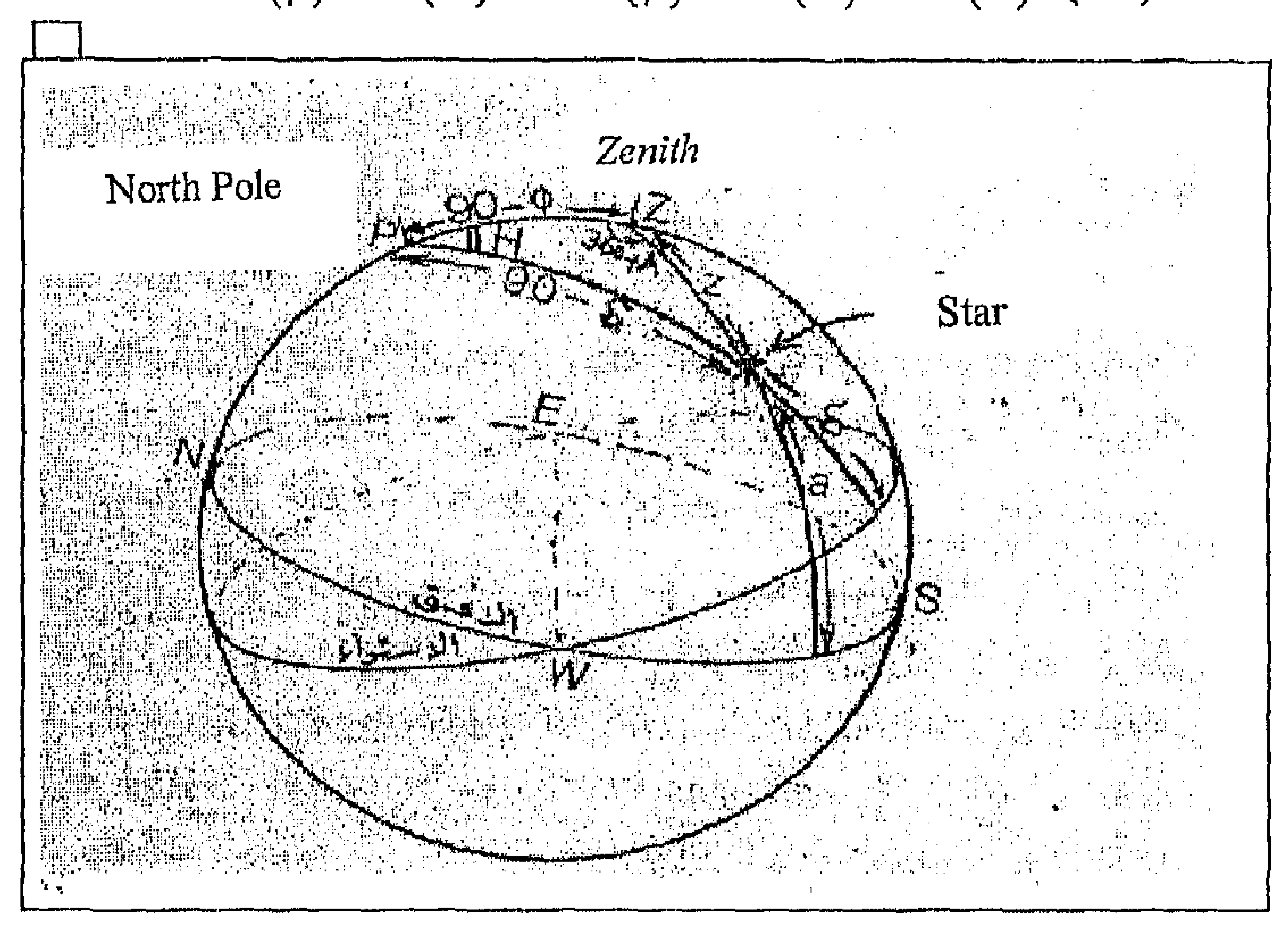
$$PZ = 90^\circ - \phi$$
$$PX = 90^\circ - \delta$$

وإذا استخدمنا قاعدة المثلث الكروي المعروفة. نجد أن

$$CosZ = Sin(h') = Sin(\phi)\ Sin(\delta) + Cos(\phi)\ Cos(\delta)\ Cos(H) \quad (3\text{-}2)$$

ويمكن أيضا أن نحصل على:

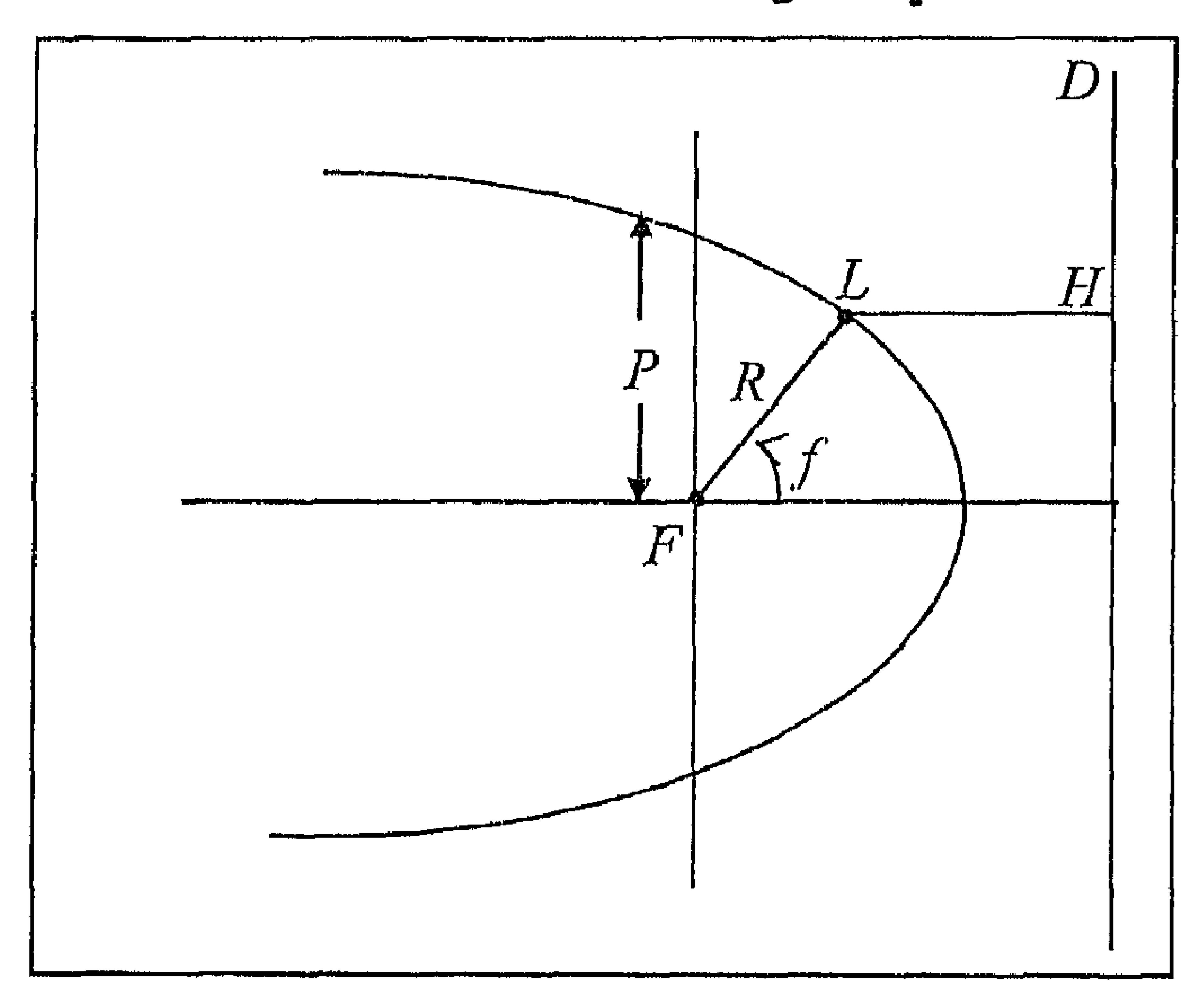
$$Sin\delta = Sin(\varphi)\ Sin(h') + Cos(\varphi)\ Cos(h')\ Cos(A) \quad (3\text{-}3)$$



الشكل رقم (3-2) يمثل تحويل الإحداثيات الاستوائية إلى أفقية وبالعكس

(3-3) مدارات القطع المخروطي :-

القطع المخروطي هو المحل الهندسي للنقاط الواقعة في مستوي والذي له البعد (R) عن نقطة ثابتة (البؤرة) ونسبة هذا البعد إلى مسافة (LH) ثابتة تسمى الانحراف المركزي للمدار (e) كما في الشكل (3-3).



الشكل رقم (3-3) يمثل القطع المخروطي

ويضم ثلاثة أنواع نسبة إلى الانحراف المركزي وهي (القطع الزائد والقطع المكافئ والناقص)

ومعادلة القطع المخروطي بدلالة الإحداثيات القطبية هي:

$$R = \frac{h^2/\mu}{1+\left(A''h^2/\mu\right)\ Cosf} \quad (3\text{-}4)$$

حيث h هو مقدار الزخم الزاوي للجسم لوحدة الكتلة.

A'' ثابت التكامل.

μ ثابت الجذب الأرضي وقيمتها $\mu = Gm = 398601.2 \quad km^3 / Sec^2$

G هو ثابت الجاذبية العام وقيمتها $G = 6.6 \times 10^{11} \; N.m^2 / kg^2$

f هي زاوية الانحراف الحقيقي.

m هي كتلة الجسم المركزي

$P = h^2/\mu$ (3-5) كما وان P يمثل نصف معلم المدار ويعرف هندسيا Semi-latus rectum

وان الحد ($\frac{Ah^2}{\mu}$) يمثل الانحراف المركزي e الذي يعرف بأنه النسبة بين بعد المركز عن بؤرة المدار إلى نصف المحور الكبير له.

والطاقة الكلية للقطع المخروطي توصف بالعلاقة الآتية:

$$E_n = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}(\frac{1}{2}V^2 - \frac{\mu}{R}) \quad (3\text{-}6)$$

أو.

$$E_n = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} C$$

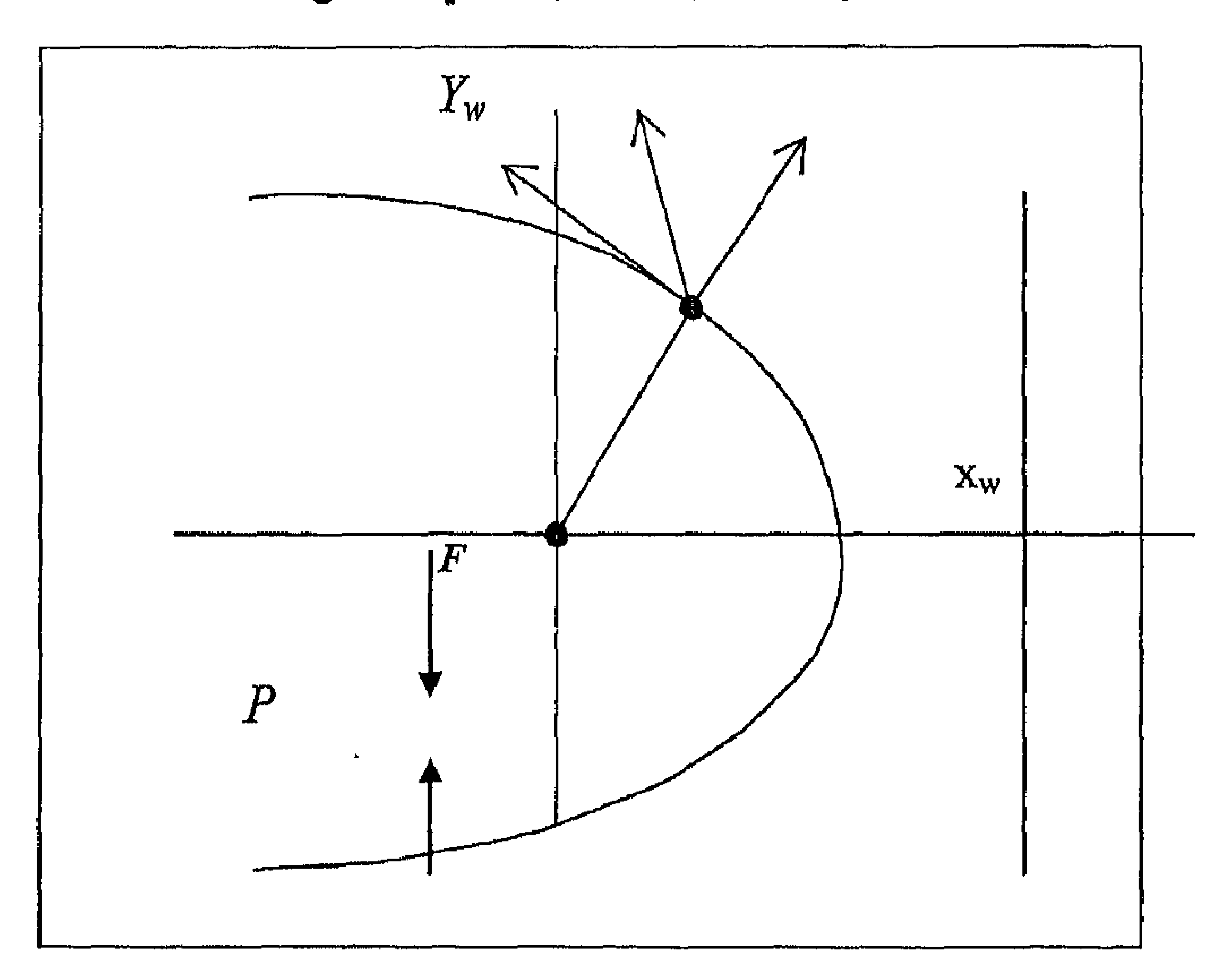
حيث $V = (\dot{R}^2 + (R\dot{\theta})^2)^{1/2}$ تمثل السرعة المدارية و C تمثل مقدار الطاقة لوحدة الكتلة او ثابت الطاقة الذي يساوي:

$$C = \frac{1}{2}V^2 - \frac{\mu}{R} \quad (3\text{-}7)$$

وفي حال دوران القمر الصناعي حول الأرض فان كتلته (m_1) تكون صغيرة جدا بالنسبة لكتلة الأرض (m_2) يمكن أن تهمل لذلك فان الحد (C) يمثل مقدار الطاقة الكلية للقمر. وفيما يلي أنواع مدارات القطع المخروطي:

1- مدار القطع المكافئ Parabolic Orbit:

هو مدار مفتوح لا دوري يستخدم في الرحلات الفضائية ما بين الكواكب حيث يتم زيادة طاقة المركبة الفضائية عن طريق زيادة سرعتها إلى أن تتجاوز سرعة الهروب من الأرض والبالغة (11) كم/ثا. فتتغلب الطاقة الحركية للمركبة الفضائية على قوة الجذب الأرضي وتتمكن من الإفلات من فضاء الأرض. وهذا المدار أيضا يخص المذنبات غير الدورية، فعند اقتراب المذنب او أي جسم قادم من ألما لانهاية من نقطة الحضيض (وهي اقرب نقطة إلى مركز الجذب) تزداد سرعته وتبلغ أقصاها في تلك النقطة ثم ينعطف متجها إلى ألما لانهاية فتتناقص سرعته إلى الصفر كما في الشكل (3-4).



الشكل رقم (3-4) يمثل مدار القطع المكافئ

أن قيمة الانحراف المركزي للمدار ($e=1$) وقيمة نصف المحور الكبير ($a=\infty$) لذلك فان قيمة السرعة المدارية تكون:

$$V^2 = \frac{2\mu}{R} \quad (3\text{-}8)$$

وقيمة الطاقة:

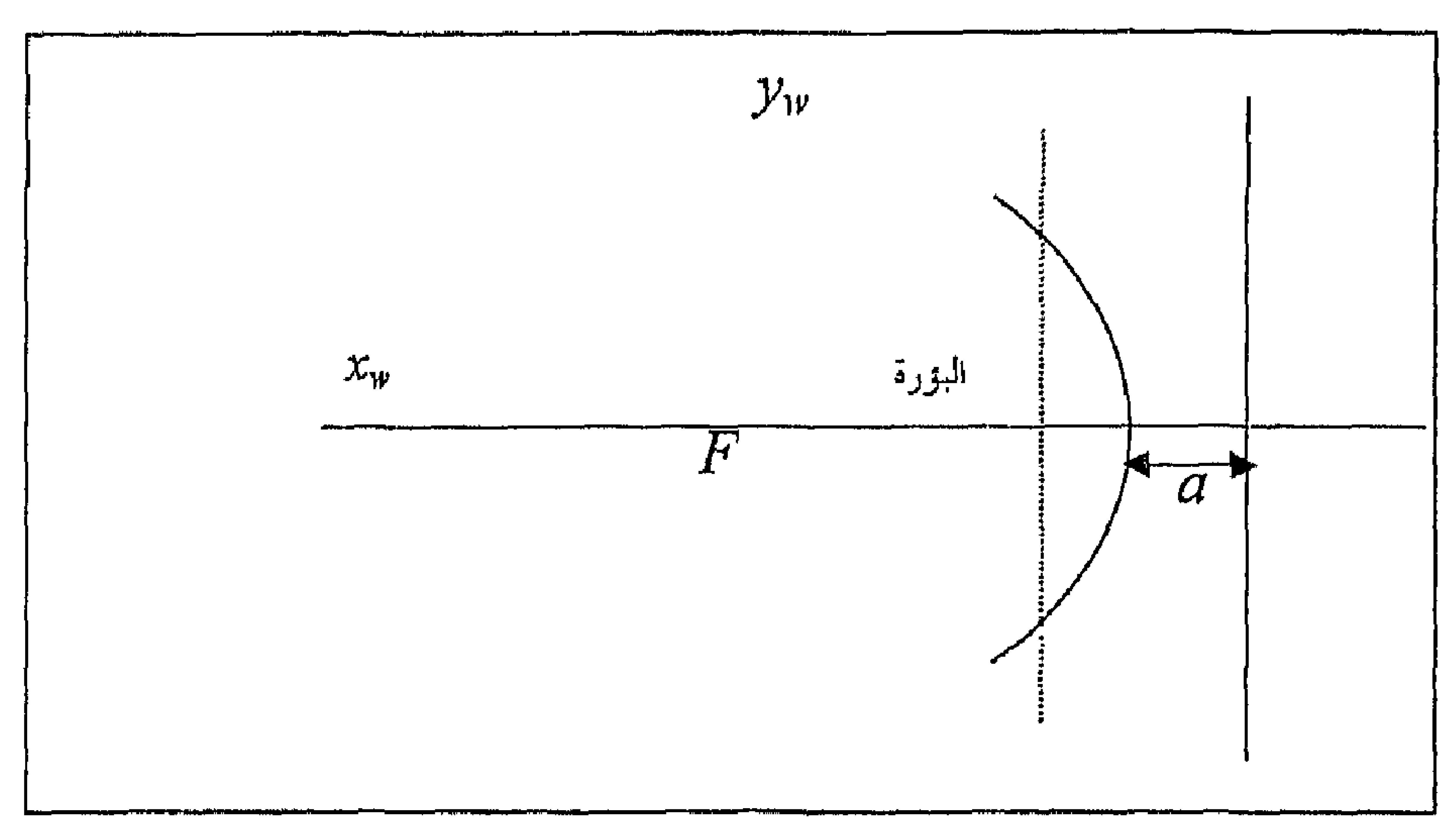
$$C = 0 \quad (3\text{-}9)$$

2- مدار القطع الزائد **Hyperbolic Orbit:**

وهو مدار مفتوح لا دوري يستخدم في الرحلات الفضائية خارج المجموعة الشمسية. حيث تستفاد المركبات الفضائية الخارجة من فضاء الأرض من جاذبية المشتري لزيادة سرعتها ثم طاقتها لتتمكن من الخروج من المجموعة الشمسية. وهذا المدار يمثل أيضا مدارات بعض المذنبات والنيازك كما في الشكل (3-5) وقيمة الانحراف المركزي للمدار ($e>1$) وقيمة نصف المحور الكبير يتراوح ما بين ($-\infty < a < 0$) وقيمتي السرعة المدارية والطاقة هي:

$$V^2 = \mu \left(\frac{2}{R} + \frac{1}{a} \right) \quad (3\text{-}10)$$

$$C = +\frac{\mu}{2a} \quad (3\text{-}11)$$



الشكل رقم (3-5) يمثل مدار القطع الزائد

3- مدار القطع الناقص Elliptical Orbit:

يعرف القطع الناقص بأنه المحل الهندسي للنقاط المتحركة حول نقطتين ثابتتين (البؤرتين $F'F$) بحيث تكون النسبة بين المسافة (LF) من أي نقطة على المدار إلى البؤرة (F) والمسافة (LH) من نفس النقطة إلى خط الدليل (directrix) هي دائما (<1) كما في الشكل (3-6) وهو مدار اهليليجي مغلق انحرافه المركزي ($1 > e > 0$).

وقيمة السرعة والطاقة في المدار هي:

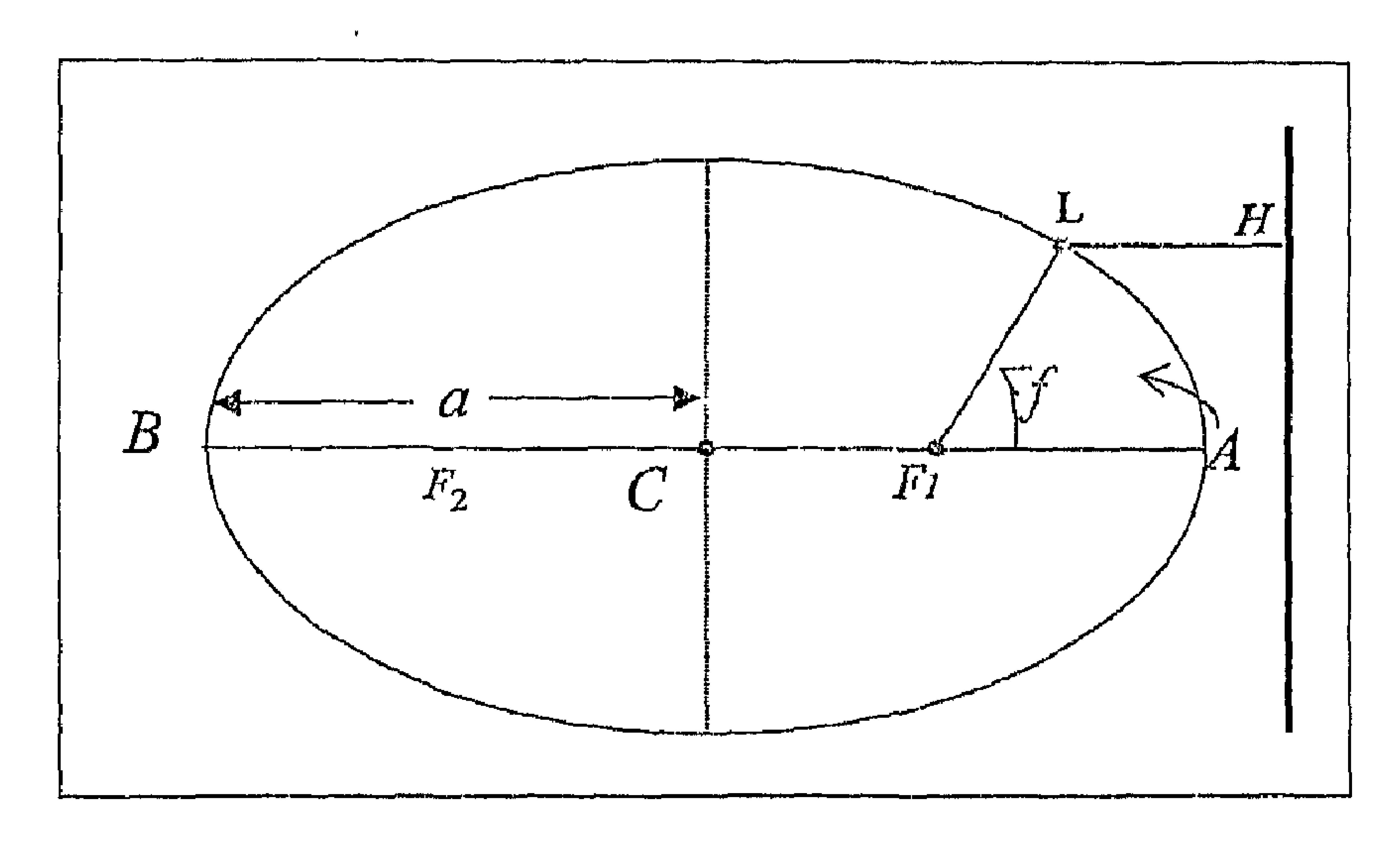
$$V^2 = \mu \left(\frac{2}{R} - \frac{1}{a}\right) \quad (3\text{-}12)$$

$$C = -\frac{\mu}{2a} \quad (3\text{-}13)$$

ونصف المحور الصغير (b) Semi-minor axis يعطى بالعلاقة:

$$b = a(1-e^2)^{1/2} \quad (3\text{-}14)$$

ونقطة التقاطع A تسمى الحضيض والتي تمثل اقرب نقطة من البؤرة F .



الشكل رقم (3-6) يبين مدار القطع الناقص.

ومن المعادلة (3-4) فأن البعد بين مركز الجسم الجاذب في البؤرة ومركز الجسم الذي يدور حوله يعطى بالعلاقة:

$$R = \frac{p}{1 + e\cos f} \quad (3\text{-}15)$$

وعندما تكون زاوية الانحراف الحقيقي $f = 0°$ فأن الجسم الذي يدور يكون في الحضيض (Perigee) وإذا كانت $f = 180°$ فأن الجسم الذي يدور يكون في الاوج (Apogee) وتكون قيمة البعد R في الحالتين هي:

$$\left.\begin{aligned} R_p &= \frac{P}{1+e} \\ R_a &= \frac{P}{1-e} \end{aligned}\right\} (3\text{-}16)$$

حيث R_a, R_p يمثلان بعد الجسم في كل من الحضيض والاوج على التوالي.

ومن العلاقة (3-16) يمكننا أن نجد:

$$\frac{R_p + R_a}{2} = \frac{P}{1-e^2} \quad (3\text{-}17)$$

ومن الشكل (3-6) نجد أن قيمة نصف المحور الكبير a:

$$a = \frac{R_p + R_a}{2} \quad (3\text{-}18)$$

وهذا يعني أن نصف معلم المدار P يصف بالعلاقة الآتية:

$$P = a(1 - e^2) \quad (3\text{-}19)$$

لذلك فأن الزخم الزاوي لوحدة الكتلة (h) يساوي:

$$h^2 = \mu\, a(1 - e^2) \quad (3\text{-}20)$$

ومن المعادلة (3-16) نجد أن:

$$\begin{aligned} R_p &= a(1-e) \\ R_a &= a(1+e) \end{aligned} \quad (3\text{-}21)$$

يمكن أن نجد قيمة الانحراف المركزي e من العلاقة (3-21):

$$e = \frac{R_a - R_p}{R_a + R_p} \quad (3\text{-}22)$$

(3-4) **معاملات القطع الناقص** Orbital Parameters :-

فيما يلي سنوضح معاملات خاصة بمدار القطع الناقص هذه المعاملات تصف المدار وتكون مكملة لعناصره:

1- مدة الدورة The Period (Pd):

تمثل الفترة الزمنية اللازمة لاكمال دورة واحدة حول مركز الجذب وتعتمد على السرعة المدارية (V) للجسم المداري وأبعاد المدار (b,a) حسب العلاقة التالية:

$$Pd = \frac{2\pi\ ab}{h} \quad (3\text{-}23)$$

حيث (πab) تمثل مساحة مدار القطع الناقص و(Pd) تمثل زمن الدورة.

ومن المعادلات (3-14)،(3-20)،(3-23) فأن قيمة مدة الدورة (Pd) يمكن أن تعطى بالعلاقة:

$$Pd=2\pi(a^3/\mu)^{1/2}(3\text{-}24)$$

أو

$$Pd^2=4\pi^2a^3/\mu(3\text{-}25)$$

أن العلاقة (3-25) مهمة جدا لانها تمثل قانون كبلر الثالث.

2- معدل الحركة The Mean Motion (n):

وهي معدل السرعة الزاوية المدارية للجسم الذي يدور خلال وحدة الزمن ومن العلاقة (3-15) يمكن أن نجد:

$$n = \frac{2\pi}{Pd} = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}} \, (3\text{-}26)$$

حيث μ هو ثابت الجاذبية الأرضية ويساوي بعد إهمال كتلة الجسم الذي يدور تصبح:

$$\mu = GM_{\oplus} \ (3\text{-}27)\square$$

حيث $M_{\oplus}$ هي كتلة الأرض وتساوي $M_{\oplus} = 5.98 \times 10^{27}\, gm$

3- معدل الانحراف The Mean Anomaly (M):

وهي معدل الإزاحة الزاوية للجسم الذي يدور خلال الفترة الزمنية (t-t_p) وتعطى بالعلاقة:

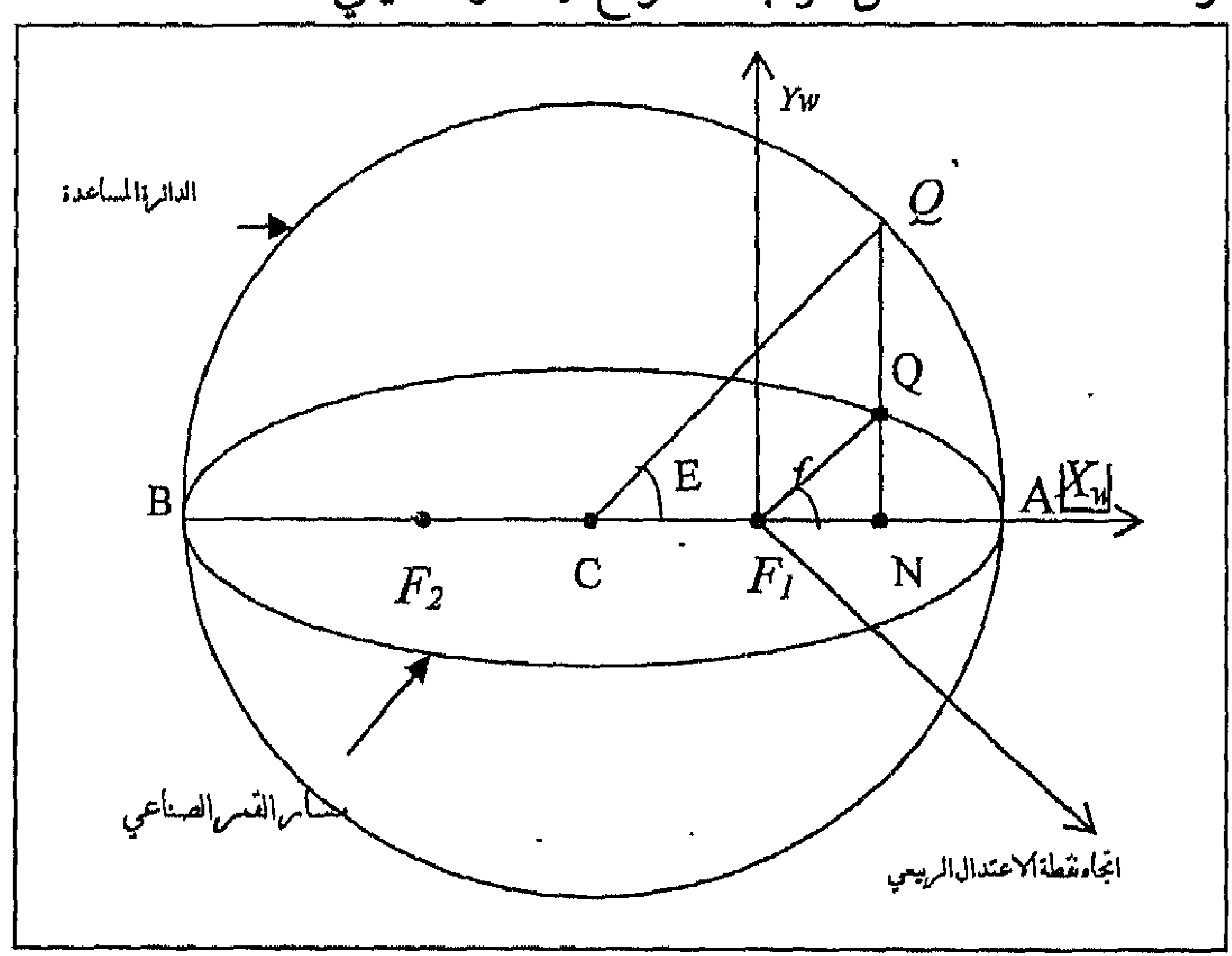
$$M = n(t - t_p) \quad (3\text{-}28)$$

حيث t_p زمن المرور بنقطة الحضيض.

t الزمن في أي لحظة.

4- الانحراف الشاذ The Eccentric Anomaly (E):

وهي الزاوية المركزية المحصورة بين موقع الجسم الذي يدور على الدائرة المساعدة (auxiliary circle) والمحور(X) لمدار القطع الناقص كما في الشكل(3-7) وقيمة هذه الزاوية تتراوح بين ($0 \le E \le 2\pi$). والدائرة المساعدة هي الدائرة المرسومة مع القطع الناقص والتي تمسه في نقطتي الاوج والحضيض ونصف قطرها يساوي نصف المحور الكبير لمدار القطع الناقص. ومن الشكل (3-7) نستنتج علاقة مهمة بين المسافة النصف قطرية (R) والانحراف الشاذ (E) تمثل مركبات الموقع X،y وكما يلي:



الشكل رقم (3-7) يمثل موقع زاوية الانحراف الشاذ في المدار

□

$$X = RCosf = aCosE - a.e$$
$$= RCosf = a(CosE - e) \quad (3\text{-}29)$$
$$Y = RSinf = bSinE$$
$$= RSinf = a\sqrt{1-e^2}\,SinE \quad (3\text{-}30)$$

وبتربيع المعادلتين (3-29)، (3-30) وجمعهما وجذرهما ينتج:

$$R = a(1 - eCosE) \quad (3\text{-}31)$$

وتحسب قيمة E من قيمة معدل الانحراف(M) وذلك بحل معادلة كبلر المعتمدة على الزمن وهي:

$$M = E - eSinE = n(t - t_p) \quad (3\text{-}32)$$

أن المعادلة أعلاه تعرف أيضا بالمعادلة الزمنية للحركة المدارية ولا يوجد هنالك حل تحليلي لها. بل توجد حلول تقريبية مختلفة وضعت منذ عهد كبلر ولحد الان. وفيما يلي إحدى طرق حل المعادلة وهي طريقة نيوتن ـ رفسن (Newton-Raphson method):

- في أول خطوة تقريب نفرض أن:-

$$E_0 = M \;\square$$

ثم نجد جذر الدالة

$$f(E) = E_{(t)} - e\sin E_{(t)} - M_{(t)}$$

بعدها نجد المشتقة لهذه الدالة بالنسبة إلى (E) حيث نحصل على:

$$f'(E) = 1 - e\cos E$$

ثم نطبق قاعدة نيوتن في التقريب فتكون القيمة الجديدة لـ(E) هي:

$$E_{(n+1)} = E_n - \frac{f(E)}{f'(E)} \quad (3\text{-}33)$$

ويستمر التكرار حتى تتساوى قيمة الدالة (f) مع قيمة E تقترب من الصفر.

5- الانحراف الحقيقي (f) True Anomaly:

وهي الزاوية المدارية المحصورة بين متجه موقع الجسم الذي يدور من البؤرة F ونصف المحور الكبير (a) كما في الشكل (3-6) ويمكن إيجادها من العلاقة (3-15):

$$Cosf = (\frac{P}{R} - 1)\Big/e \quad (3\text{-}34)$$

وكذلك

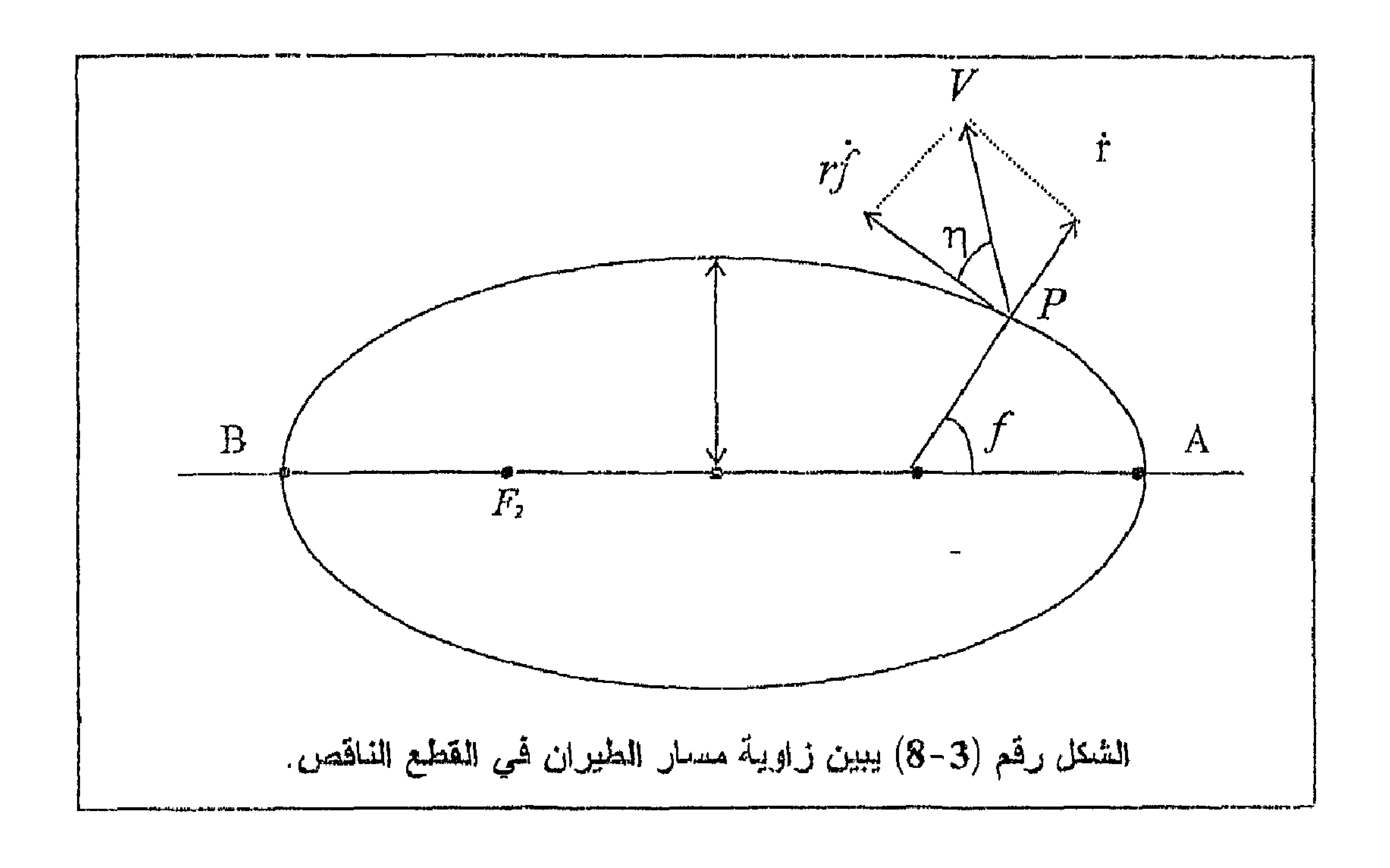
$$tan\frac{f}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}\, tan\frac{E}{2} \quad (3\text{-}35)$$

6 - زاوية مسار الطيران (β) The flight path angle:

وهي الزاوية المحصورة بين متجه نصف القطر ومتجه السرعة المدارية وفي موقعي الاوج والحضيض يكون متجه السرعة المدارية عمودي على متجه نصف القطر لذلك تكون قيمة زاوية مسار الطيران $\beta = 90°$ وأيضا تكون قيمة $\beta < 90°$ في منتصف المسافة بين الحضيض والاوج وفي نصف المسافة بين الاوج والحضيض.(القسم الثاني من المدار) تكون قيمة $\beta > 90°$ وفي بعض الأحيان تحسب زاوية مسار الطيران نسبة إلى الأفق الآني (اللحظي) للقمر نسبة إلى مركز الأرض لذلك فأن:

$$\eta = 90° - \beta \, \square$$

فتكون قيمها مكملة لقيم β (مجموعها $90°$) لذلك تكون قيمتها عند الاوج والحضيض تساوي صفر وتكون موجبة في النصف الأول من المدار وسالبة في النصف الثاني منه كما في الشكل (3-8). وتعطى بالعلاقة:



الشكل رقم (3-8) يبين زاوية مسار الطيران في القطع الناقص.

$$tan\,\eta = \frac{eS\,inf}{1 + eCosf} \quad (3\text{-}36)$$

$$\beta = 90^{o} - \eta \quad (3\text{-}37)$$

$$\eta = cos^{-1}\left(\frac{R\dot{f}}{\dot{R}}\right)$$

(5-3) العناصر المدارية Orbital Element:

أن معادلة الحركة لجسمين في الفضاء تعطى بالعلاقة التالية:

$$\frac{d^2R}{dt^2} + \frac{\mu}{R^3}R = 0 \quad (3\text{-}38)$$

ومن خلالها يمكن وصف حركة القمر الصناعي حول الأرض. حيث $\vec{R}$ تمثل متجه الموقع والذي بدلالة المركبات (X,Y,Z) وان حل هذه المعادلة يعطى أما بصيغة

إحـداثيات الموقـع والـسرعة الابتدائيـة ($X_0, Y_0, Z_0, \dot{X}_0, \dot{Y}_0, \dot{Z}_0$) أو بـصيغة العناصـر المدارية (M،ω، Ω، i، e،a) والتي تمثل ثوابت التكامل. ويمكن تمثيلها بالدالتين التاليتين:

1- الدالة الأولى

$$R(t) = R(X_0, Y_0, Z_0, \dot{X}_0, \dot{Y}_0, \dot{Z}_0, t) \quad (3\text{-}39)$$

حيث أن (X_0, Y_0, Z_0) هي مركبات الموقع (R) عند الزمن (t).

( ) $\dot{X}_0, \dot{Y}_0, \dot{Z}_0$ هي مركبات السرعة ($\dot{R}$) عند الزمن (t).

وتمثـل المركبـات أعـلاه مجموعـة العناصـر المداريـة الكارتيزيـة المتعامـدة The rectangular Cartesian Coordinate System.

2- الدالة الثانية

$$R(t) = R(a, e, i, \Omega, \omega, M, t) \quad (3\text{-}40)$$

حيث $(a, e, i, \Omega, \omega, M)$ تمثل العناصر المدارية الكلاسيكية الكبلرية. Classical elements System

والتي تضم مجموعتين هي:

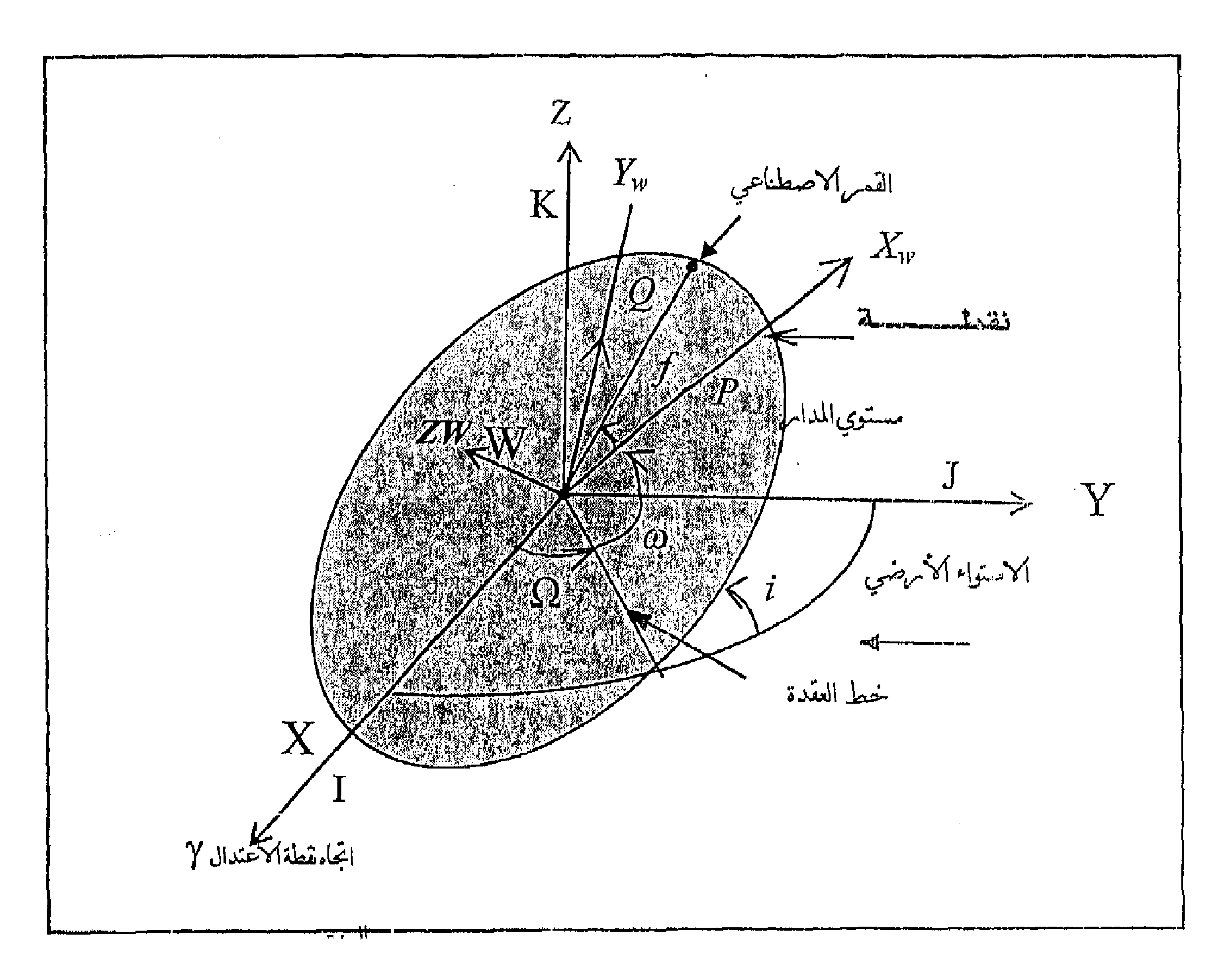
i - العناصـر البعدية (dimensional element) الـتي تحـدد أبعـاد المـدار وتـشمل على:

a- نصف المحور الكبير (Semi-Major axis)(a) والذي يحدد حجم المدار.

b- الشذوذ المركزي (Eccentricity)(e) والذي يحدد شكل المدار.

c- معدل الانحراف (Mean Anomaly)(M) والتي تـربط موقـع القمـر في مـداره مع الزمن.

ii - العناصر الموقعية (Orientation Element) التي تحدد موقـع المـدار في الفـضاء وتسمى زوايا اويلر (Euler angle) كما في الشكل(3-9).



الشكل رقم (3-9) يبين زوايا اويلر الثلاث

a- زاوية ميل المدار (Inclination Angle)(i): وهي الزاوية المحصورة بين مستوي المدار ومستوي الاستواء السماوي. وتكون قيمتها ($180^o \geq i \geq 0$).

b- البعد الزاوي للعقدة الصاعدة (Ω) (Longitude of Ascending node): وهي الزاوي المقاسة من اتجاه نقطة الاعتدال الربيعي γ (نقطة تقاطع دائرة الاستواء السماوي مع دائرة البروج) إلى العقدة الصاعدة (N) (نقطة تقاطع مدار القمر الصناعي مع دائرة الاستواء عندما يكون اتجاه الحركة قيمتها من

الجنوب إلى الشمال) وتقع في مستوي الاستواء وقيمتها ($0^{\circ} \geq \Omega \geq 360^{\circ}$) درجة.

c- دالة مثابة الحضيض (Argument of perigee)(ω): وتمثل الإزاحة الزاوية من خط العقدة الصاعدة (Node) إلى الخط الواصل بين مركز الأرض ونقطة الحضيض في المدار، وتقع في مستوي المدار باتجاه الحركة وقيمتها ($360^{\circ} \geq \omega \geq 0^{\circ}$).

يتضح مما تقدم أن العناصر المدارية الخمسة(a، e، i، Ω، ω) تمكننا من معرفة المدار، أما العناصر السادس (M) يمكننا من معرفة موقع القمر الصناعي ضمن مداره عند زمن معين.

بالإضافة إلى مجموعة الإحداثيات الديكارتية، والعناصر الكبلرية فأن هناك نظام لمجموعة أخرى من الإحداثيات يمكن التعرف على مدار القمر الصناعي من خلاله، ويسمى نظام الإحداثيات الكروية Spherical Coordinate System ويمثل بالعناصر ($\alpha, \delta, \beta, A, R, V$).

حيث α يمثل المطلع المستقيم Right Ascention.

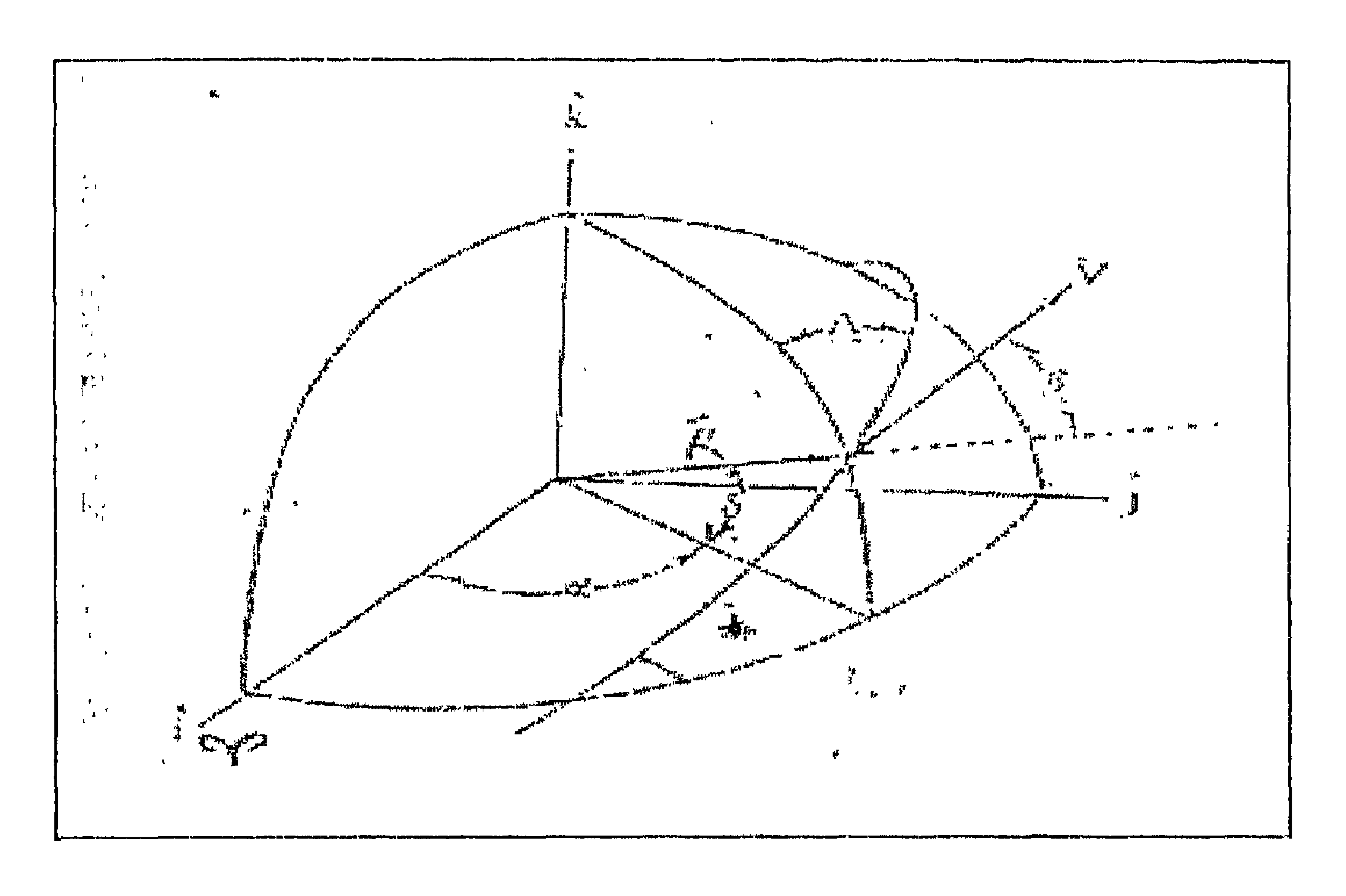
δ تمثل الميل الزاوي Declination.

β زاوية مسار الطيران Flight path Angle.

A الانحراف عن الشمال الجغرافي Azimuth.

R المسافة القطرية Radius.

V السرعة Velocity. كما في الشكل (3-10).



الشكل رقم (3-10) يمثل نظام الإحداثيات الكروية

(6-3) تحويل أنظمة العناصر المدارية

:Orbital Element Transformation

من الممكن تحويل أي مجموعة من العناصر المدارية المذكورة آنفا إلى مجموعة أخرى وكما يلي:

(1-6-3) تحويل النظام التقليدي إلى النظام الديكارتي

Classical to Cartezian Transformation

$$(a,e,i,\Omega,\omega,M)(X,Y,Z,\dot{X},\dot{Y},\dot{Z}) \longrightarrow$$

يمكن حساب موقع القمر الصناعي ضمن مداره من العلاقات (3-29)،(3-30)،(3-31) بعد أن نحسب قيمة الانحراف الشاذ (E) من المعادلة (2-33) وباشتقاق هذه المعادلات

بالنسبة للزمن مع استخدام تعريف الزخم الزاوي لوحدة الكتلة ($h=(P\mu)^{1/2}$) لحصل على مركبات السرعة الخاصة بالقمر الصناعي في مستوي حيث R يمثل معدل بعد القمر الصناعي عن مركز الأرض وهي:

$$\dot{X}_w = -\frac{\sqrt{\mu a}}{R} \sin E \quad (3\text{-}41)$$

$$\dot{Y}_w = \frac{\sqrt{\mu a (1-e^2)}}{R} \cos E \quad (3\text{-}42)$$

$$\dot{r}_w = \frac{\sqrt{\mu a}}{R} e \sin E \quad (3\text{-}43)$$

ثم يتم تحويل مركبات الموقع والسرعة من إحداثيات مستوي مدار القمر (PQW) إلى إحداثيات مستوي الاستواء (IJK) باستخدام مصفوفة التحويل (متجهات كاوس) المعتمدة على زوايا اويلر كما في الشكل (3-9) وعناصر المصفوفة هي:

$$P_x = \cos\omega \cos\Omega - \sin\omega \sin\Omega \cos i$$
$$P_y = \cos\omega \sin\Omega + \sin\omega \cos\Omega \cos i$$
$$P_z = \sin\omega \sin i$$
$$Q_x = -\sin\omega \cos\Omega - \cos\omega \sin\Omega \cos i$$
$$Q_y = -\sin\omega \sin\Omega + \cos\omega \cos\Omega \cos i$$
$$Q_z = \cos\omega \sin i$$
$$W_x = \sin\Omega \sin i$$
$$W_y = -\cos\Omega \sin i$$
$$W_z = \cos i$$

وبصورة عامة عند تحويل الإحداثيات من المستوي المرجعي (الاستوائي) إلى مستوي مدار القمر الصناعي نستخدم المصفوفة التالية:

$$\begin{bmatrix} P \\ Q \\ W \end{bmatrix} = [R] \cdot \begin{bmatrix} I \\ J \\ K \end{bmatrix} \quad (3\text{-}44)$$

حيث

$$[R] = \begin{bmatrix} P_x & P_y & P_z \\ Q_x & Q_y & Q_z \\ W_x & W_y & W_z \end{bmatrix}$$

هي مصفوفة التحويل للنظام أو مصفوفة متجهات الجيوب تمام (direction cosine matrix).

وبما أن الإحداثيات (I, J, K) منطبقة على الإحداثيات (X, Y, Z) والإحداثيات (PQW) منطبقة على الإحداثيات (X_w, Y_w, Z_w) فأن المعادلة (3-44) ستكون بالشكل التالي:

$$\begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} = [R] \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (3\text{-}45)$$

ولكن عند تحويل الإحداثيات من المستوي المداري (مستوي مدار القمر الصناعي) إلى المستوي المرجعي (الاستوائي) باستخدام مصفوفة التحويل $[R]^{-1}$ كما يلي

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = [R]^{-1} \cdot \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} \quad (3\text{-}46)$$

وبما أن التحويل متعامد فأن $[R]^{T} = [R]^{-1}$

$$[R]^{T} = \begin{bmatrix} P_x & Q_x & W_x \\ P_y & Q_y & W_y \\ P_z & Q_z & W_z \end{bmatrix}$$

فتكون مركبات الموقع في مستوي الاستواء هي

$$\begin{aligned} x &= P_x x_w + Q_x y_w + W_x z_w \\ y &= P_y x_w + Q_y y_w + W_y z_w \quad (3\text{-}47) \\ z &= P_z x_w + Q_z y_w + W_y z_w \end{aligned}$$

أن متجه(z_W 0 =) لان الحركة دائما في المستوي ($x_W y_W$) وان:

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (3\text{-}48)$$

وبنفس الطريقة يمكن أن نجد مركبات السرعة المدارية في مستوي الاستواء كما يلي:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_x & Q_x & W_x \\ P_y & Q_y & W_y \\ P_z & Q_z & W_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{x}_w \\ \dot{y}_w \\ \dot{z}_w \end{bmatrix} \quad (3\text{-}49)$$

$$V = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} \quad (3\text{-}50)$$

(2-6-3) تحويل النظام الديكارتي إلى النظام التقليدي Cartesian to Classical Transformation:-

$$(X,Y,Z,\dot{X},\dot{Y},\dot{Z})(a,e,i,\Omega,\omega,M) \longrightarrow$$

يتم حساب كل من موقع وسرعة القمر الصناعي في المدار من خلال المعادلتين (3-45)،(3-59) ثم يتم حساب مركبات الزخم الزاوي (h_X,h_Y,h_Z) من خلال العلاقة التالية :

$$\vec{h}=\vec{R}\times\vec{V} \quad (3\text{-}51)$$

ويمكن كتابة h بدلالة مركباته $h=ih_X+jh_Y+kh_Z$

وبصيغة المصفوفات تصبح

$$h=\begin{bmatrix}h_x\\h_y\\h_z\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}i & j & k\\x & y & z\\\dot{x} & \dot{y} & \dot{z}\end{bmatrix}(3\text{-}52)$$

ثم يتم حساب العناصر المدارية وكما يلي:

$$\tan i=\left(\frac{\sqrt{h_x^{\,2}+h_y^{\,2}}}{h_z}\right) \quad (3\text{-}53)$$

□

$$tan\Omega=\left(\frac{h_x}{h_y}\right)(3\text{-}54)$$

□

$$(3\text{-}55)\ \tan\omega = \left(\frac{zh}{-xh_y + yh_x}\right)$$

حيث Ω, ω, i تمثل زوايا اويلر.

ومن المعادلة (3-8) نحصل على قيمة نصف المحور الكبير للمدار:

$$a = \left(\frac{2}{R} - \frac{V^2}{\mu}\right)^{-1} \quad (3\text{-}56)$$

ومن المعادلة (3-20) نحصل على الانحراف المركزي كما يأتي:

$$e = \sqrt{1 - \frac{h^2}{\mu\, a}} \quad (3\text{-}57)$$

ثم نجد قيمة الانحراف الشاذ (E) ومعدل الانحراف (M) من العلاقات التالية:

$$\tan E = \left(\frac{1 - R/a}{x\dot{x} + y\dot{y} + z\dot{z}}\right)\sqrt{\mu\, a} \quad (3\text{-}58)$$

$$M = E - \frac{x\dot{x} + y\dot{y} + z\dot{z}}{\sqrt{\mu\, a}} \quad (3\text{-}59)$$

(3-6-3) تحويل النظام الكروي إلى النظام الديكارتي Spherical to Rectangular Cartisian Transformation:-

$$(\alpha, \delta, \beta, A, R, V)\ (x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}) \longrightarrow$$

وهذا التحويل يشبه تحويل العناصر الكلاسيكية إلى العناصر الكارتيزية وبالاستعانة بالشكل (3-10) نلاحظ بأن التدوير يتم أولا حول المحور ($\hat{z}$) بزاوية

($+\alpha$) وحول محور ($\hat{y}$) بزاوية ($-\delta$) والذي يجعل المحور x بنفس اتجاه متجه نصف القطر. وبذلك يمكن كتابة معكوس التحويل لمتجه الموقع كما يلي:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Cos\alpha & -Sin\alpha & 0 \\ Sin\alpha & Cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Cos\delta & 0 & -Sin\delta \\ 0 & 1 & 0 \\ Sin\delta & 0 & Cos\delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3\text{-}60)$$

ومن إكمال ضرب المصفوفات في العلاقة (3-58) نحصل على الموضع بدلالة الإحداثيات الديكارتية:

$$\begin{aligned} x &= R\ Cos\ \delta\ Cos\ \alpha \\ y &= R\ Cos\ \delta\ Sin\ \alpha \quad (3\text{-}61) \\ z &= R\ Sin\ \delta \end{aligned}$$

وكذلك يمكن كتابته معكوس التحويل لمتجه السرعة بواسطة التدوير حول المحور($\hat{z}$) بزاوية ($+\alpha$) ثم التدوير حول المحور($\hat{y}$) بزاوية ($-\delta$) ثم تدوير حول المحور (x) بزاوية ($-A$) واخيرا تدوير حول المحور($\hat{y}$) بزاوية ($-\beta$).

وبعد الانتهاء من التدوير نجد أن المحور (x) يقع باتجاه متجه السرعة ويمكن تمثيل التدوير بالصيغة التالية:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = T_1 T_2 T_3 T_4 \begin{bmatrix} V \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3\text{-}62)$$

حيث ان

$$
\left.
\begin{aligned}
T_1 &= \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
T_2 &= \begin{bmatrix} \cos\delta & 0 & -Sin\,\delta \\ 0 & 1 & 0 \\ Sin\,\delta & 0 & Cos\,\delta \end{bmatrix} \\
T_3 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos A & SinA \\ 0 & -SinA & CosA \end{bmatrix} \\
T_4 &= \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & Sin\,\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ Sin\,\beta & 0 & Cos\,\beta \end{bmatrix}
\end{aligned}
\right\} \quad (3\text{-}63)
$$

وبعد إكمال ضرب المصفوفات أعلاه نحصل على المركبات الديكارتية للسرعة:

$$
\begin{aligned}
\dot{x} &= V\left[Cos\alpha\left(-CosA\ Sin\beta\ \ Sin\delta + Cos\beta\ Cos\delta\right) - SinA\ Sin\beta\ Sin\alpha\right] \\
\dot{y} &= V\left[Sin\alpha\left(-CosA\ Sin\beta\ Sin\delta + Cos\beta\ \ Cos\delta\right) + SinA\ Sin\beta\ Cos\alpha\right] \\
\dot{z} &= V\left(CosA\ \ Cos\delta\ \ Sin\beta + Cos\beta\ Sin\delta\right)
\end{aligned}
$$

(3-64)

الفصل الرابع

حساب العناصر المدارية وتغيرها مع الزمن بطريقة الرصد البصري

الفصل الرابع

حساب العناصر المدارية وتغيرها مع الزمن بطريقة الرصد البصري

تمهيد Introduction:

يعرف القطع المخروطي بواسطة ستة عناصر مدارية وهي نصف المحور الكبير (a) والانحراف المركزي (e) وزمن المرور بالحضيض (T_p) والميل عن دائرة الاستواء (i) والمطلع المستقيم للعقدة الصاعدة (Ω) ودالة مثابة الحضيض (ω). هذه العناصر توضح شكل وموقع المدار في الفضاء. أن طرق حساب العناصر المدارية لأي جسم يدور حول مركز الجذب يمكن ان تصنف (حسب نوع الجسم) إلى صنفين:

1- جسم معلوم ويتم حساب عناصره المدارية بواسطة الاتصال ما بينه وبين المحطة الأرضية مثل أقمار الأرصاد الجوية والأقمار التجارية والأقمار التي يتم الاتصال بها من قبل جهة الإطلاق.

2- جسم غير معلوم ولا يوجد اتصال بينه وبين المحطة الأرضية مثل أقمار الاستطلاع والتصوير والتجسس.

أن الأجسام في الصنف الأول أعلاه يمكن حساب عناصرها المدارية باستخدام طريقة المدى (Ranging Method) والتي تعتمد على تأثير دوبلر (Doppler effect) عن طريق حساب المدى المائل (Slant Range) ومعدل المدى للتردد بين القمر الصناعي والمحطة الأرضية.

والأجسام في الصنف الثاني يمكن أن تحسب عناصرها المدارية من بيانات الزوايا (الرصدات) التي تعتمد على نوع المدار إذا كان دائريا أو قطع ناقص، فإذا كان المدار دائريا فتكون العملية اسهل عن طريق رصدتين في محطة واحدة. وإذا كان المدار قطع ناقص فأن العملية تكون اكثر تعقيداً لان ذلك يتطلب ثلاث رصدات كحد أدنى من محطة واحدة إلى ثلاث محطات، كما يتطلب ذلك تخمين اولي لارتفاع القمر الصناعي.

وقد تم استخدام محطتين تعطيان قيم اتجاهية للقمر الصناعي المرصود (افتراضياً)، وتم بناء نموذج رياضي وبرنامج لحساب العناصر المدارية من تلك المعطيات بإهمال الاضطراب، وتمت دراسة علاقة العناصر المدارية ببعضها.

(2-4) طرق حساب عناصر مدار القطع الناقص :-

هنالك عدة طرق لحساب العناصر المدارية لمدار القطع الناقص باستخدام المعاملات لمتجهين مع الزمن وهذه الطرق هي:-

1- طريقة كاوس الاولية.

2- طريقة لمبرت _اويلر.

3- طريقة التكرار في المعامل الثانوي.

4- طريقة التكرار في الانحراف الحقيقي.

5- طريقة استخدام المتسلسلات g, f .

6- طريقة التكرار في الانحراف المركزي.

ولكن إذا كانت بيانات المعلومات الموجودة للجسم الذي يدور هي بيانات زوايا فقط مع الزمن أي في حالة عدم إمكانية حساب بعد القمر عن الراصد. فإنه توجد ثلاث طرائق استخدمت لحساب العناصر المدارية هي:

1- طريقة كاوس (Gauss Method).

2- طريقة لابلاس (Laplace Method).

3- طريقة إعادة التكرار المزدوج (The Double-r-iteration Method) للعالم (Escobal) حيث أن الطرائق الثلاثة أعلاه تعتمد على ثلاثة مجاميع تحتوي كل مجموعة على احداثيان زاويان وهما الميل عن الشمال (Azimuth) والارتفاع الزاوي (elevation) مقاسه بثلاث أزمان مختلفة.

أن الطريقتان الأولى والثانية لا تعطيان دقة كافية في النتائج. أما الطريقة الثالثة وهي طريقة إعادة التكرار المزدوج (The Double-r-iteration Method) للعالم (Escobal) والتي تعتمد على بيانات الزوايا وتغيرها مع الزمن من محطة رصد واحدة، ووضع ارتفاع افتراضي للقمر الصناعي ومن عملية التكرار يتم ايجاد الارتفاع التقريبي له فهي تمثل تطوير لطريقة كاوس حيث يمكن من خلالها حساب العناصر المدارية لمدارات الأقمار الصناعية الواطئة لأي فترة زمنية بين الرصدات. وقد تم الاستفادة من بعض خطوات ومعادلات هذه الطريقة وإدخالها في الطريقة المستخدمة التالية:

(3-4) **النموذج النظري** Theoritical Model :-

في هذه الطريقة يتم حساب العناصر المدارية لقمر صناعي واطئ الارتفاع باستخدام محطتين للرصد بينهما مسافة معلومة ويفضل أن تكونا واقعتين على طول جغرافي واحد (للاستفادة من الزمن في الرصد) ويتم ذلك عن طريق رصد القمر الصناعي ثلاث رصدات من المحطة الأولى ورصده واحدة إلى ثلاث رصدات من المحطة الثانية حيث تتضمن رصدات المحطة الأولى احداثيي الارتفاع الزاوي (elevation) والميل عن الشمال الجغرافي (Azimuth) ورصدات المحطة الثانية تتضمن (الميل عن الشمال فقط ويمكن تبديل دور المحطتين) ويجب توفير المتطلبات التالية لاكمال المهمة:

1- المسافة بين المحطتين يفضل أن لا تتجاوز 50 كم ويجب أن يكون موقعها مناسب للرصد.

2- حساب ارتفاع موقع المحطتين عن سطح البحر (من الخرائط الكنتورية).

3- توفير الأجهزة التالية للمحطتين:

أ- تلسكوب صغير (ينصب أفقيا ويوجه إلى الشمال الجغرافي ويتم تصغير طبلتي الاتجاه والارتفاع بهذا الوضع) ويفضل ان يكون التلسكوب رقمي (Digital) ويحتوي على منظومة متابعة ذاتية ومزود بساعة توقيت لتوخي الدقة العالية في عملية الرصد مع ربط جهاز تصوير (Camera) لتدقيق المعلومات مع النجوم التي يمر بها القمر الصناعي.

ii- ربط المنظومة في المحطة الأولى بجهاز حاسوب لإدخال نتائج الرصد من المحطتين في البرنامج المعد لحساب العناصر المدارية للقمر للحصول على النتائج مباشرة (حيث يجب توفير جهاز اتصال بين المحطتين لتأمين الرصد في نفس الوقت)

وفيما يلي طريقتين لغرض حساب العناصر المدارية للقمر الصناعي:-

(1-3-4) الطريقة الاولى The First Method:-

بأخذ ثلاث رصدات من المحطة الأولى تتضمن كل رصده احداثيي الاتجاه والارتفاع وثلاث رصدات من المحطة الثانية تتضمن أحداثي الاتجاه فقط. وتتضمن الطريقة الخطوات الرياضية التالية:

1 - يتم اخذ الرصدات الثلاثة من المحطة الأولى (عندما يمر القمر الصناعي في سماء الراصد) بينها فترات زمنية متقاربة وتتضمن كل رصده الارتفاع الزاوي عن أفق الراصد (h') والاتجاه عن الشمال (A) عند الزمن date ويتم أيضا قي نفس الزمن اخذ الرصدات الثلاثة من المحطة الثانية تتضمن كل رصده الاتجاه عن الشمال (B) فقط. وعند أجراء عملية الرصد من المحطة الأولى يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار إمكانية رصده من المحطة الثانية بسبب المسافة بين المحطتين والزمن date يتضمن السنة والشهر واليوم والساعة والدقيقة والثانية.

2 – يتم حساب ارتفاع القمر الصناعي عن سطح الأرض (K) للمواقع الثلاثة التي رصد فيها في مداره كما في الشكل (4-1) وفق العلاقات المثلثية التالية التي تم اشتقاقها من قبلنا للحصول على ثلاث قيم للارتفاع عن سطح الأرض ومنها يتم الحصول على ثلاث قيم لبعد القمر الصناعي عن مركز الأرض والتي من خلالها تم استخدام طريقة (Escobal) للحصول على العناصر المدارية للقمر الصناعي وكما يلي:

$$\theta_i = 180 - A_i \quad i = 1,2,3... \quad (4\text{-}1)$$

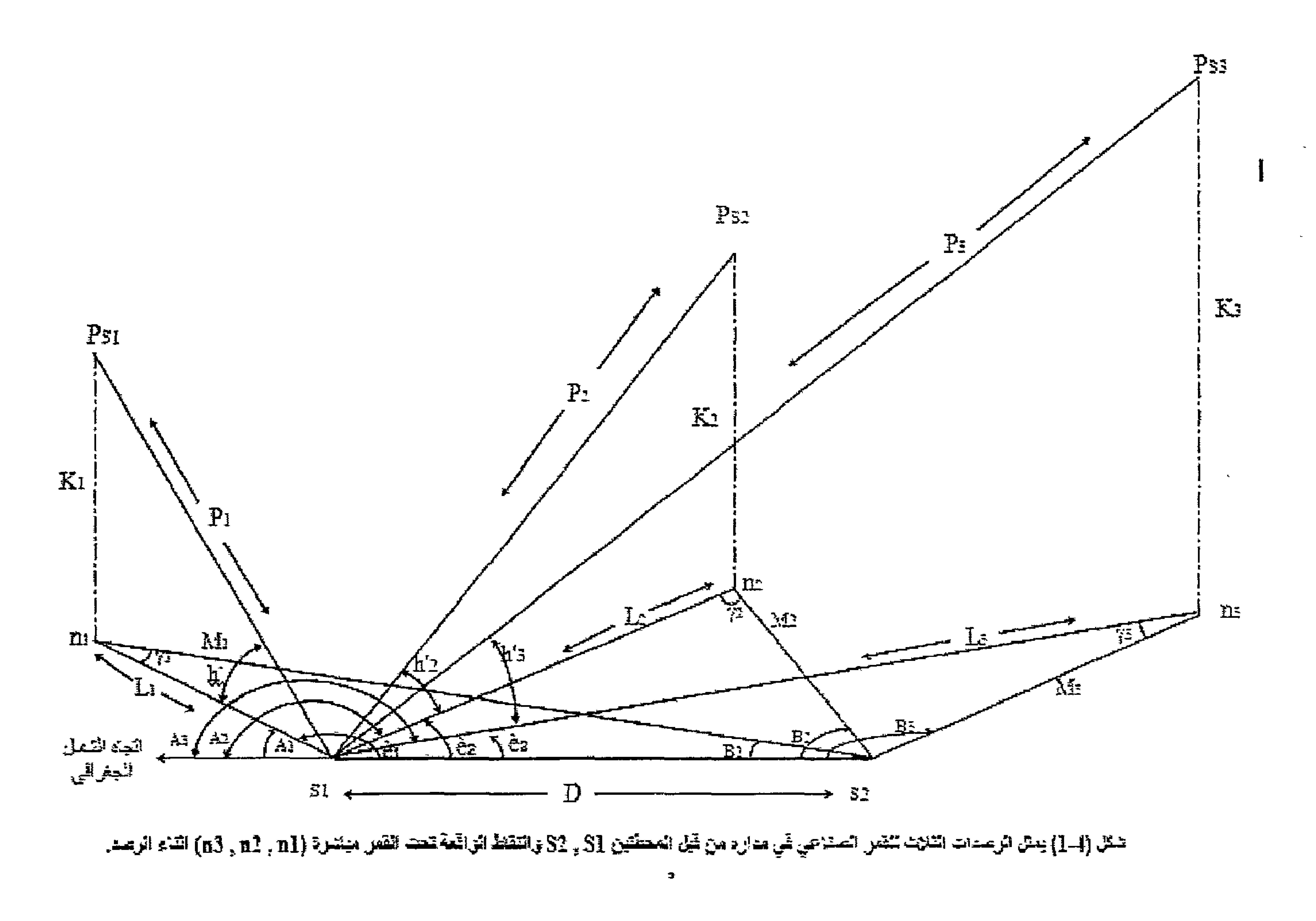
$$\gamma_i = A_i - B_i \quad (4\text{-}2)$$

$$L_i = D * SinB_i / Sin\gamma_i \quad (4\text{-}3)$$

$$K_i = L_i * tanh_i \quad (4\text{-}4)$$

$$P_i = \left(L_i^2 + K_i^2\right)^{1/2} \quad (4\text{-}5)$$

$$RR_i = K_i + R_e + h_S' + h_Z' \quad (4\text{-}6)$$



شكل (4-1) يمثل الرصدات الثلاث للقمر الصناعي في مداره من قبل المحطتين S1 , S2 والنقاط الواقعة تحت القمر مباشرة (n1 , n2 , n3) اثناء الرصد.

حيث θ_i هي الزوايا المكملة لزوايا الاتجاه A_i.

γ_i هي الزوايا المحصورة بين متجهي بعد النقطة التي تقع تحت القمر الصناعي مباشرة على الأرض أثناء الرصد وبين المحطتين S_2,S_1.

L_i تمثل أبعاد النقاط التي تقع تحت القمر الصناعي مباشرة على سطح الأرض عن المحطة الأولى. K_i تمثل ارتفاعات القمر الصناعي في الرصدات الثلاثة عن سطح الأرض (على فرض أن المسافة بين المحطة والنقطة التي تحت القمر في مستوي).

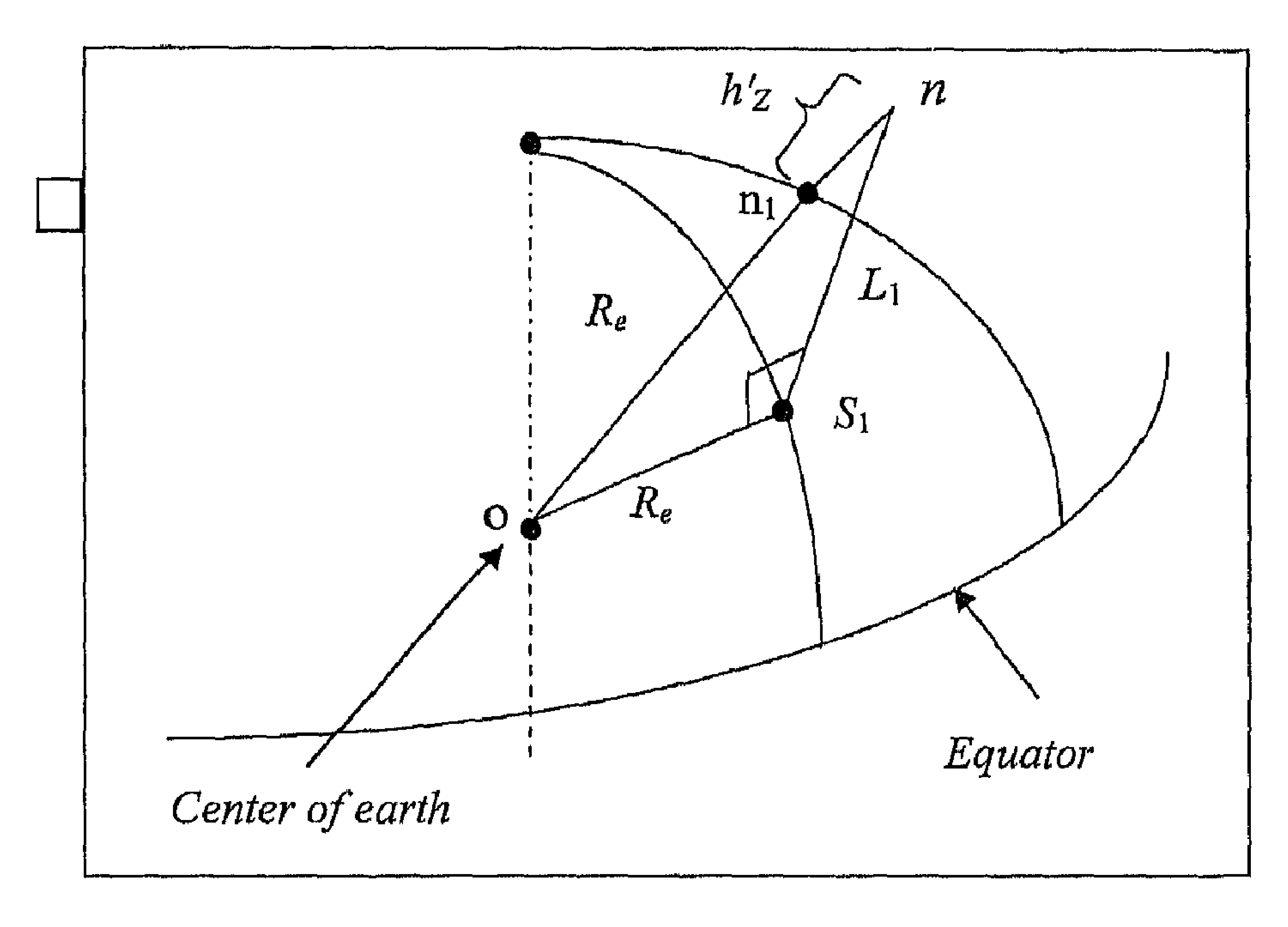
P_i يمثل أبعاد القمر الصناعي إثناء الرصد عن المحطة الأرضية الأولى ويسمى المدى المائل (Slant Range).

R_e يمثل نصف قطر الأرض.

h'_S ارتفاع المحطة الأولى عن سطح البحر.

h'_Z يمثل مقدار فرق الارتفاع بين أفق المحطة S_1 وافق النقطة n_1 على سطح الأرض التي تقع تحت القمر الصناعي مباشرة.

وتحسب كما يلي:- كما في الشكل (4-2).



الشكل (4-2) يمثل فرق الارتفاع بين أفق المحطة S_1 والنقطة n_1 الواقعة تحت القمر الصناعي

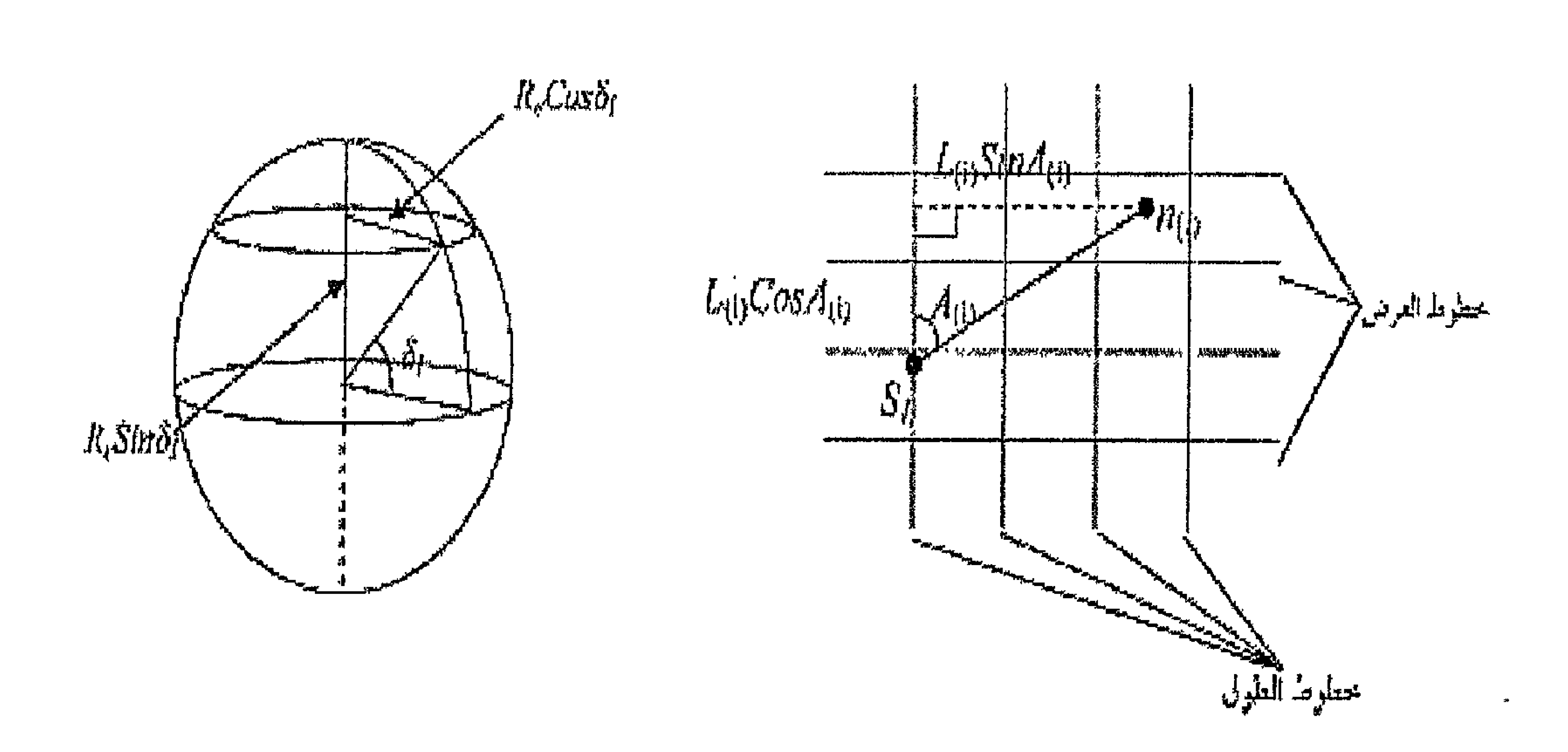
أن L_1 يمثل المسافة المستوية بين النقطتين n,S_1 وبسبب تكور الأرض فـأن النقطـة n تكون أعلى من سطح الأرض بمسافة h_Z حيث تعتمد علـى قيمـة L_1. لـذلك يمكـن حساب هذه المسافة هندسيا من الشكل (3-2) وكما يلي:

$$
\left.
\begin{aligned}
on &= \left(R_e^2 + L_1^2\right)^{1/2} \\
R_e + h'_Z &= \left(R_e^2 + L_1^2\right)^{1/2} \\
h'_Z &= \left(R_e^2 + L_1^2\right)^{1/2} - R_e
\end{aligned}
\right\} \quad (4\text{-}7)
$$

3- يتم حساب الإحداثيات الاستوائية الارتفاع الزاوي (δ) والمطالع المستقيم (α) وزاوية الساعة (H) ومنها تحسب مركبات الموقع (x_i, y_i, z_i) للقمر الصناعي في الرصدات الثلاثة. من العلاقتين (2-2)،(2-3) نحسب H_i, S_i حيث $i = 1,2,3$.

ومن العلاقات (3-1A) و(3-1B) و(3-1C) نحسب قيمة α_i وباستخدام العلاقة (3-16) نجد مركبات بعد القمر الصناعي عن مركز الأرض (x_i, y_i, z_i) بدلالة الإحداثيات الاستوائية للرصدات الثلاثة.

4- في هذه الفقرة تم حساب موقع النقطة الجغرافي على الأرض التي يكون القمر الصناعي فوقها مباشرة بالاستفادة من الإحداثيات الجغرافية للمحطة الأولى وفق الخطوات التالية:-



شكل (4-3) يمثل قيمة نصف قطر الدائرة العرضية التي تقع عليها محطة الرصد

شكل رقم (4-4) يمثل محطة الرصد ومسقط القمر بالنسبة لخطوط الطول الجغرافية

a- حساب خط طول النقطة على الأرض التي تحت القمر الصناعي

نجد أن المسافة بين خطي الطول لنقطتين تقعان على خط عرض المحطة الأولى. كما في الشكل (4-4) حسب المعادلة التالية:

$$Lng_{(i)} = \left(2\pi R_e Cos\delta_{(i)}\right)/360 \quad (4\text{-}8)$$

حيث $i = 1,2,3$

وتكون وحدات $Lng_{(i)}$ هي كم/ درجة عندما يؤخذ نصف قطر الأرض (R_e) بوحدات (كم).

ثم نجد المسافة بين موقع المحطة S_1 والنقطة التي تحت القمر الصناعي على سطح الأرض كما في الشكل (4-4) وكما يلي:

$$dL_{(i)} = \left(L_{(i)} * SinA_{(i)}\right)/\ln g_{(i)} \quad (4\text{-}9)$$

وحدات $dL_{(i)}$ بالدرجات وتضاف قيمتها إلى قيمة خط طول المحطة الأولى λ_1 والنتيجة تمثل خط طول القمر الصناعي:

$$\lambda_{Sat(i)} = \lambda + dL_{(i)} \quad (4\text{-}10)$$

b- حساب خط عرض النقطة على الأرض التي تحت القمر الصناعي

نجد المسافة بين خطي عرض كما في الشكل (4-5) وكما يلي:

$$Lat_{(i)} = 2\pi\left(R_C - 22\right)/360 \quad (4\text{-}11)$$

$i = 1,2,3$ ولها نفس الوحدات في (a)

ثم نجد المسافة بين موقع المحطة S_1 والنقطة التي تحت القمر وهذه تعتمد على قيمة زاوية الاتجاه Aوكما يلي:

i- إذا كانت $0° < A_{(i)} < 90°$ فان

$$dL_{(i)} = \left(L_{(i)} * CosA_{(i)}\right)/lat_{(i)} \quad (4\text{-}12)$$

ونضيف هذه المسافة إلى خط عرض المحطة S_1 .

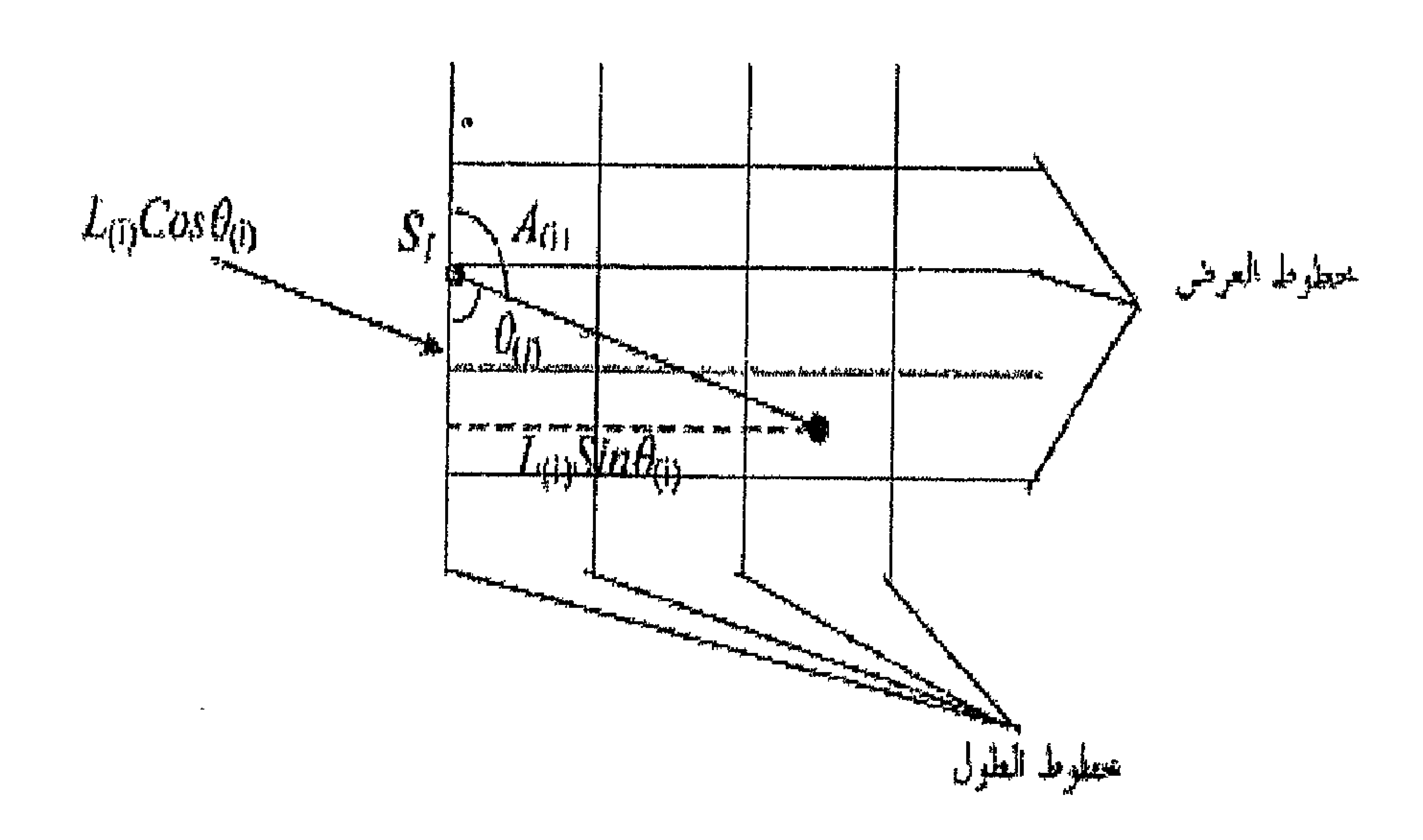
$$\phi_{Sat(i)} = \phi + dL_{(i)} \quad (4\text{-}13)$$

ii- إذا كانت $90^\circ < A_{(i)} < 180^\circ$ فأن

$$dL_{(i)} = L_{(i)} * Cos(180 - A_{(i)}) / lat_{(i)} \quad (4\text{-}14)$$

ونطرح هذه المسافة من خط عرض المحطة

$$\phi_{Sat(i)} = \phi - dL_{(i)} (4\text{-}15)$$



شكل رقم (4-5)

يمثل محطة الرصد ومسقط القمر بالنسبة لخطوط العرض الجغرافية.

5- ثم يتم حساب نصف معلم المدار (P) والانحراف المركزي (e) ونصف المحور الكبير(a) ومعدل الحركة (n) وزاوية الانحراف الحقيقي (f) وزاوية الانحراف الشاذ (E) ومنها نجد زاوية معدل الانحراف (M) للرصدات الثلاثة باستخدام معادلة كبلر ثم نجد زمن الرصده (t) ضمن مدة الدورة المدارية. ويتم ذلك بالاستفادة من خطوات ومعادلات طريقة إعادة التكرار المزدوج(Double-Iteration Method) للعالم (P.R.Escobal) وكما يلي:

$$Cos(f_2 - f_1) = (x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2)/[RR_1 \cdot RR_2] \quad (4\text{-}16)$$

$$Sin(f_2 - f_1) = (x_1y_2 - x_2y_1 / |x_1y_2 - x_2y_1|) \left(1 - Cos^2(f_2 - f_1)^{1/2}\right) \quad (4\text{-}17)$$

$$(f_2 - f_1) = tan^{-1}\left(\frac{Sin(f_2 - f_1)}{Cos(f_2 - f_1)}\right) \quad (4\text{-}18)$$

حيث أن $(f_2 - f_1)$ تمثل الفرق بين قيم زاويتي الانحراف الحقيقي في الرصدة الأولى والرصدة الثانية.

وبنفس الطريقة نجد قيمة $(f_3 - f_1)$ و $(f_3 - f_2)$ ومن هذا الفرق بين قيم الانحراف الحقيقي نجد قيمة الثوابت C_3, C_1، والتي من خلالها يتم أيجاد قيمة P وكما يلي:

i- for $(f_3 - f_1) > \pi$

$$C_1 = \frac{RR_2}{RR_1} \cdot \frac{Sin(f_3 - f_2)}{Sin(f_3 - f_1)}$$

$$C_3 = \frac{RR_2}{RR_3} \cdot \frac{Sin(f_2 - f_1)}{Sin(f_3 - f_1)} \quad (4\text{-}19)$$

$$P = \frac{C_1\ RR_1 + C_3\ RR_3 - RR_2}{C_1 + C_3 - 1} \quad (4\text{-}20)$$

ii- for $(f_3 - f_1) \leq \pi$

$$C_1 = \frac{RR_1}{RR_2} \cdot \frac{Sin(f_3 - f_1)}{Sin(f_3 - f_2)}$$
$$C_3 = \frac{RR_1}{RR_3} \cdot \frac{Sin(f_2 - f_1)}{Sin(f_3 - f_2)} \quad (4\text{-}21)$$
$$P = \frac{RR_1 + C_3\ RR_3 - C_1\ RR_2}{1 + C_3 - C_2} \quad (4\text{-}22)$$

حيث P تمثل نصف معلم المدار (Semi-Latus rectum) ومـن المعادلـة (3-15) نجد قيمة الحد $eCosf$ وكما يلي:

$$q_i = eCosf_i = \frac{P}{RR_i} - 1 \ (i = 1,2,3) \quad (4\text{-}23)$$

ومن المعادلة (4-23) نجد قيمة الحد ($eS\,inf_i$) وكما يلي:

i-for $(f_2 - f_1) \neq \pi$

$$qq = (eS\,inf_2) = \frac{Cos(f_2 - f_1)(eCosf_2) + (eCosf_1)}{Sin(f_2 - f_1)} \quad (4\text{-}24)$$

ii-for $(f_2 - f_1) = \pi$

$$qq = (eS\,inf_2) = \frac{Cos(f_3 - f_2)(eCosf_2) + (eCosf_3)}{Sin(f_3 - f_1)} \quad (4\text{-}25)$$

ومـن المعـادلات (4-23)،(4-24)،(4-25) يمكـن أيجـاد قيمـة الانحـراف المركـزي للمدار (e) وكما يلي:

$$e = \left(q_e^2 + qq^2\right)^{1/2}$$
$$e = \left((eCosf_2)^2 + (eS\,inf_2)^2\right)^{1/2} \quad (4\text{-}26)$$

أن قيمة الانحراف المركزي (e) هي التي تحدد إمكانية الاستمرار بالبرنامج، فإذا كانت $e \geq 1$ فأنه لا يمكن الاستمرار بالبرنامج لأن المدار ليس قطع ناقص وإنما قطع زائد أو مكافئ وهي ليست مدارات الأقمار الصناعية المعنية ببحثنا.

أما إذا كانت قيمة $e < 1$ فأنه يمكن أيجاد قيمة نصف المحور الكبير للمدار (a) من المعادلة التالية وكما يلي:

$$a = \frac{P}{\left(1 - e^2\right)} \quad (4\text{-}27)$$

ومن المعادلة (3-26) يمكن أيجاد قيمة معدل الحركة (n) كما يلي:

$$n = \left(\frac{\mu}{a^3}\right)^{1/2} \quad (4\text{-}28)$$

ومن الانحراف المركزي (e) يمكن أيجاد قيم زوايا الانحراف الحقيقي $f_3 f_2 f_1$ للرصدات الثلاثة وكما يلي:

$$S\,inf_i = \frac{q_i}{e} \quad (4\text{-}29)$$

$$f_i = Sin^{-1}\left(\frac{q_i}{e}\right) \quad (4\text{-}30)$$

ثم يتم حساب قيمة الانحراف الشاذ (E) من المعادلات التالية:

$$EE_{(i)} = SinE_{(i)} = \left(RR_{(i)} - \left(1 - e^2\right)^{1/2} \cdot S\,inf_{(i)}\right) / P \quad (4\text{-}31)$$

حيث $i = 1,2,3$

$$E_{(i)} = Sin^{-1}\left(EE_{(i)}\right) \quad (4\text{-}32)$$

ثم نجد قيمة زاوية الانحراف الحقيقي (M) من المعادلة (2-23) وهي معادلة كبلر:

$$M_{(i)} = E_{(i)} - \left(e.SinE_{(i)}\right) \quad (4\text{-}33)$$

ثم نجد زمن الرصدات الثلاثة بالنسبة الى مدة الدورة المدارية للقمر الصناعي وكما يلي:

$$t_{(i)} = \frac{M_{(i)}}{n} \quad (4\text{-}43)$$

6- ثم يتم حساب قيمة السرعة المدارية ($V_{(i)}$) في مواضع الرصدات الثلاثة من المعادلة (3-12) ويتم حساب مركبات السرعة المدارية ($V_{x(i)}, V_{y(i)}, V_{z(i)}$) لتلك المواضع من المعادلة (3-64) حيث $i = 1,2,3$، ويمكن ايجاد قيمة زاوية مسار الطيران (Flight Path Angle) من المعادلتين (3-36)،(3-37).

7- ويتم حساب قيمة الزخم الزاوي لوحدة الكتلة ($h_{(i)}$) (Angular Momentum per Unit Mass)

للمواقع الثلاثة التي يرصد فيها القمر الصناعي ضمن مداره. ومركباته ($h_{x(i)}, h_{y(i)}, h_{z(i)}$) حيث $i = 1,2,3$ باستخدام المعادلتين (3-51)،(3-52) وبذلك نحصل على ثلاثة قيم للزخم الزاوي (h_1, h_2, h_3) حيث يجب أن تكون هذه القيم متساوية. وفي حالة عدم المساواة بينهما فهذا يدل على وجود خطأ في البرنامج.

8 - ويتم حساب قيمة كل من البعد الزاوي للعقدة الصاعدة (Ω) ودالة مثابة الحضيض (ω) وميل المدار عن دائرة الاستواء (i) من المعادلات (3-53)،(3-54)،(3-55) باستخدام أي قيمة من قيم الزخم الزاوي للرصدات الثلاثة ونجد قيمة مدة الدورة المدارية (Pd) من المعادلة (3-24) وهي تمثل قانون كبلر الثالث.

9 - وقد تم بناء برنامج حاسوبي لحساب العناصر المدارية ومن الخطوات أعلاه، حسب المخطط الانسيابي (C-1) وقد تم تنفيذ البرنامج لقيمتين من الانحراف المركزي بعد إدخال قيم افتراضية لزوايا الرصد وازمانها للمحطتين حيث تعطي عند استخدامها مدار واقعي متوازن لقمرين مختلفين في الانحراف المركزي وكما يلي:

i- رصدات المحطة الأولى S_1 هي:

$$A_1 = 12.508 \quad , \quad A_2 = 73.0698 \quad , \quad A_3 = 94.865$$

$$h_1' = 82.795 \quad , \quad h_2' = 79 \quad , \quad h_3' = 77.489$$

ورصدات المحطة الثانية S_2 هي:

$$B_1 = 7^o \quad , \quad B_2 = 50^o \quad , \quad B_3 = 70^o$$

وتم تحديد زمن كل رصدة وفق التاريخ الآتي:

$$2003^y - 10^m - 29^d - 6^h - 20{,}22{,}24^{min} - 0^{sec}$$

وبعد تنفيذ البرنامج تم الحصول على ثلاثة قيم متقاربة للعناصر المدارية ومعاملات المدار وتم صياغة معدلها. وكذلك الحصول على قيم الموقع والسرعة ومركباتها للرصدات الثلاثة وزمن كل رصدة بالنسبة الى مدة الدورة المدارية، كما في الجدول التالي (4-1):

a=6957.912(km)	e=1.07E-02	pd=96.30(min)	i=35.9531°	Ω=327.861°	W=68.0635°	n=6.23E- 02 (deg/sec)	
observe	ti(min)	F (deg)	M (deg)	E (deg)	η (deg)	R(km)	V(km/sec)
1	1.94E-02	7.40E-02	7.24E-02	7.32E-02	7.88E-04	6883.032	7.65075
2	0.6111148	2.334125	2.284401	2.309196	2.48E-02	6883.248	7.65051
3	1.203103	4.594425	4.497305	4.545735	4.84E-02	6883.932	7.64975

جدول (4-1)

يبين العناصر المدارية ومعاملات المدار لثلاث رصدات ضمن دورة واحدة ولمدار شذوذه المركزي (0.01)

ii - تم إدخال رصدات المحطة الأولى وهي:

$$A_1 = 12.52109^o \quad , \quad A_2 = 73.067^o \quad , \quad A_3 = 74.755^o$$

$$h_1' = 82.8^o \quad , \quad h_2' = 79^o \quad , \quad h_3' = 77.5^o$$

$$B_1 = 7^o \quad , \quad B_2 = 50^o \quad , \quad B_3 = 70^o$$

ولنفس الزمن المستخدم نحصل على جدول (4-2) أدناه:

a=7245.873 (km)	e=5.01E-02	pd=102.3(min)	i=35.9128°	Ω =327.864°	W=68.0606°	n=5.86E-02 (deg/sec)	
observe	ti (min)	F (deg)	M (deg)	E (deg)	η (deg)	R (km)	V (km/sec)
1	6.44E-02	0.250909	0.226634	0.2386134	1.20E-02	6882.193	7.79902
2	0.6406447	2.494122	2.253458	2.372227	0.1189181	6883.306	7.79782
3	1.218318	4.739163	4.285416	4.509371	0.2242329	6886.503	7.79437

(4-3- 2) الطريقة الثانية Second Method:-

يتم اخذ ثلاث رصدات من المحطة الأولى تتضمن كل رصده احداثيي الاتجاه والارتفاع ورصدة واحدة من المحطة الثانية تتضمن أحداثي الاتجاه فقط. وقد تم اقتراح هذه الطريقة في حالة عدم تمكن إحدى المحطتين من تحقيق ثلاث رصدات بل تحقق رصدة واحدة لاسباب فنية. ويمكن اعتبار هذه الطريقة هي طريقة مطورة للطريقة السابقة في (4-3-1) وفيما يلي الخطوات الرياضية لها:

1 - يتم اخذ ثلاث رصدات للقمر الصناعي من المحطة الأولى تتضمن كل رصدة أحداثي الاتجاه عن الشمال (A) والارتفاع الزاوي عن الأفق (h') ورصدة واحدة من المحطة الثانية تتضمن الاتجاه فقط (B) على أن تكون في نفس زمن إحدى رصدات المحطة الأولى. وقد تم اخذ الرصدة الثانية من المحطة الأولى متطابقة مع رصدة المحطة الثانية، ومن الشكل (4-6) يمكن أن نجد:

$$\gamma_1 = A_1 - B_1 \quad (4\text{-}35)$$
$$\theta_2 = 180 - A_2 \quad (4\text{-}36)$$
$$\gamma_2 = A_2 - B_2 \quad (4\text{-}37)$$

ومن قانون الجيوب نجد أن:

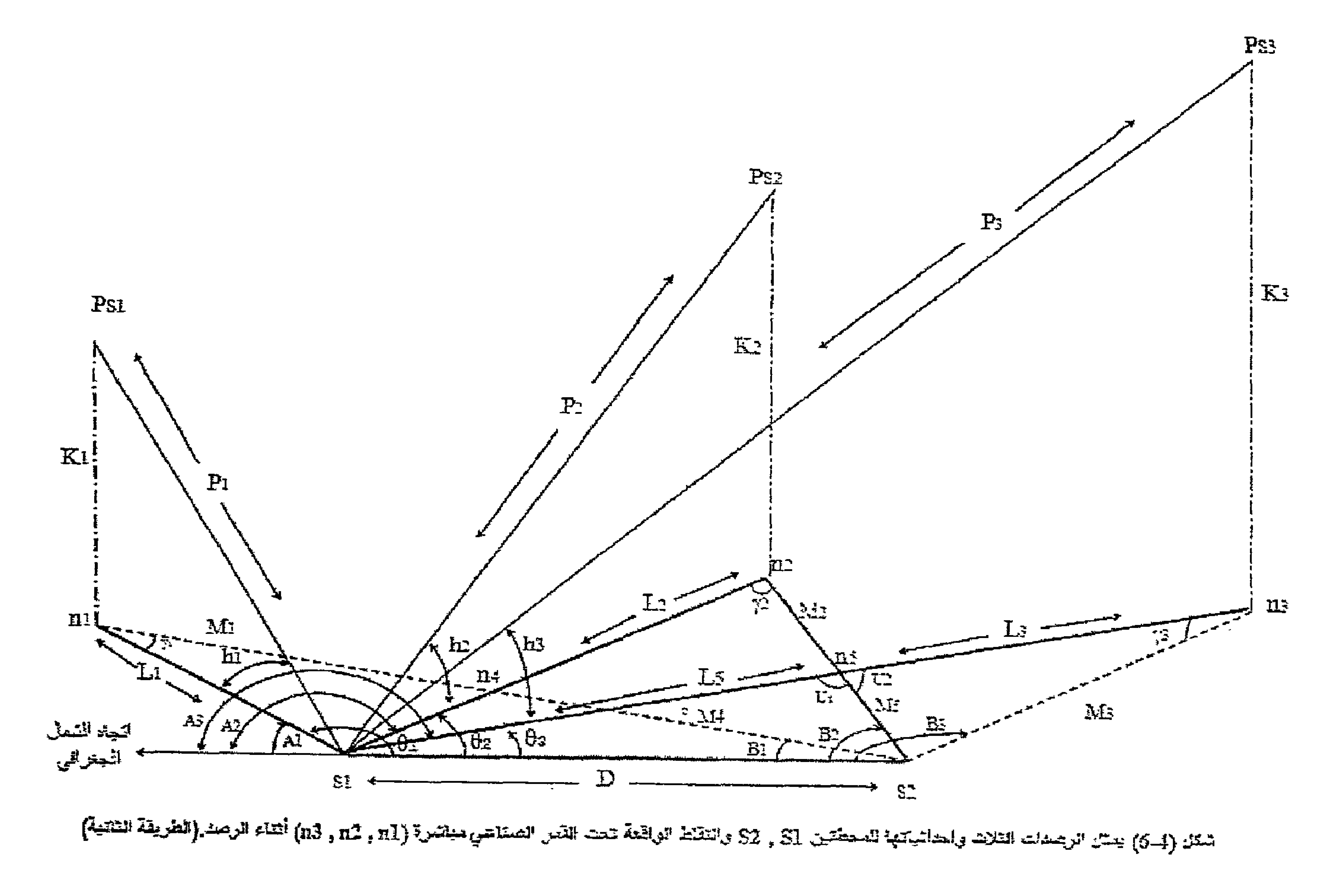
$$L_2 = (D.SinB_2)/Sin\gamma_2 \quad (4\text{-}38)$$
$$K_2 = L_2.tanh_2 \quad (4\text{-}39)$$

ومن قانون الجيب تمام نجد أن:

$$M_2 = \left(L_2^2 + D^2 - 2L_2 D Cos\theta_2\right)^{1/2} \quad (4\text{-}40)$$

$$P_2 = \left(K_2^2 + L_2^2\right)^{1/2} \quad (4\text{-}41)$$

حيث L_2 تمثل بعد النقطة التي تحت القمر مباشرة الواقعة على سطح الأرض عن المحطة الأولى، M_2 تمثل بعد نفس النقطة عن المحطة الثانية، P_2 تمثل المسافة المستقيمة بين المحطة الأولى والقمر الصناعي.



شكل (4-6) يمثل الرصدات الثلاث واحداثياتها للمحطتين S1 , S2 والنقاط الواقعة تحت القمر الصناعي مباشرة (n1 , n2 , n3) أثناء الرصد.(الطريقة الثانية)

2- ومن المثلثين $\Delta\ S_1 n_4 S_2$ ، $\Delta\ S_2 n_2 n_4$ الواقعة على سطح الأرض تقريبا ومن قانون الجيب تمام نجد أن:

$$L_4 = \frac{L_2^2 + M_2^2 - D^2 + 2L_2 M_2 Cos\gamma_2}{2L_2 - 2DCos\theta_2 - 2M_2 Cos\gamma_2} \quad (4\text{-}42)$$

$$M_4 = \left(L_4^2 + D^2 - 2L_4 DCos\theta_2\right)^{1/2} \quad (4\text{-}43)$$

حيث M_4, L_4 تمثلان ضلعي المثلث الأرضي الصغير $\Delta\ S_1 n_4 S_2$ ، وهو ناتج من تقاطع المثلثين $\Delta\ S_1 n_1 S_2$ ، $\Delta\ S_1 n_2 S_2$ ومن المعادلة (4-42)،(4-43) يمكن أن نجد قيمة الزاوية B_1 الافتراضية التي تمثل الرصده الأولى (الوهمية) للمحطة الثانية.

$$SinB_1 = L_4.Sin\theta_2 / M_4 \quad (4\text{-}44)$$

$$B_1 = Sin^{-1}\left(L_4 Sin\theta_2 / M_4\right) \quad (4\text{-}45)$$

ومن المثلث $\Delta\ S_1 n_1 S_2$

$$\gamma_1 = A_1 - B_1 \quad (4\text{-}46) \ \square$$

$$L_1 = \left(D.SinB_1\right) / Sin\gamma_1 \quad (4\text{-}47)$$

$$K_1 = L_1.tanh_1' \quad (4\text{-}48)$$

$$P_1 = \left(L_1^2 + K_1^2\right)^{1/2} \quad (4\text{-}49)$$

حيث L_1 يمثل بعد النقطة n_1 الواقعة تحت القمر مباشرة الواقعة أثناء الرصده الأولى عن المحطة الأولى.

K_1 هو ارتفاع القمر عن سطح الأرض بالكيلومتر، P_1 هو المسافة المستقيمة بين موقع القمر في الرصدة الأولى والمحطة الأرضية الأولى.

3- من المثلث $\Delta\ S_1 n_5 S_2$ نجد أن

$$U_1 = A_3 - B_2 \quad (4\text{-}50)$$

$$\theta_3 = 180 - A_3 \quad (4\text{-}51)$$

$$M_5 = D.Sin\theta_3 / SinU_1 \quad (4\text{-}52)$$

$$L_5 = (D.SinB_2)/SinU_1 \quad (4\text{-}53)$$
$$U_2 = 180 - U_1 (4\text{-}54)$$

ومن المثلثين $\Delta\ S_2 n_5 n_3$ ، $\Delta\ S_1 S_2 n_3$

$$L_3 = \frac{D^2 - L_5^2 - M_5^2 - 2L_5 M_5 CosU_2}{2DCos\theta_3 + 2L_5 - 2M_5 CosU_2} \quad (4\text{-}55)$$
$$K_3 = L_3\, tanh_3' \quad (4\text{-}56)$$
$$P_3 = (L_3^2 + K_3^2)^{1/2} \quad (4\text{-}57)$$
$$M_3 = (L_3^2 + D^2 - 2L_3 DCos\theta_3) \quad (4\text{-}58)$$
$$\gamma_3 = Sin^{-1}(M_5 SinU_2 / M_3) \quad (4\text{-}59)$$
$$B_3 = 180 - (\theta_3 + \gamma_3) \quad (3\text{-}60)$$

حيث B_3 هي الرصده الثالثة (الوهمية) للمحطة الثانية.

4- ومن المعادلات (4-39)،(4-48)،(4-56) وبنفس الطريقة السابقة في الفقرة (4-3-1) يمكن أن يتم حساب بعد القمر عن مركز الأرض في مواقع الرصدات الثلاثة للقمر الصناعي في مداره ثم تكمل باقي خطوات من (38) في الفقرة (4-2-1).

وقد تم بناء برنامج حاسوبي يمثل خطوات البرنامج ومن خلال تنفيذ هذا البرنامج باستخدام معطيات الرصد للمحطة الاولى والثانية مع مراعاة الاختلاف في الطريقة حصلنا على نتائج ولدى مقارنتها مع نتائج البرنامج السابق (4-2-1) وجدنا أن هنالك اختلاف فيها ونعزي ذلك إلى كثرة وتشعب المعادلات الرياضية. المستخدمة مما أدى إلى تراكم نسبة الخطأ التي أدت إلى هذا الاختلاف وعدم الدقة في نتائج الطريقة الثانية التي اعتمدت اقل عدد من الرصدات ان الهدف من هذا البرنامج هو محاولة حساب العناصر المدارية للقمر الصناعي بأقل المعطيات من المحطة الثانية للحفاظ على الدقة وسرعة الحصول على النتائج وكذلك الأخذ بنظر الاعتبار الجانب الفني والاقتصادي في الموضوع.

(4-4) حساب إحداثيات الموقع والسرعة للقمر الصناعي :-

في هذه الفقرة يتم حساب إحداثيات موقع القمر الصناعي في مداره بالنسبة لمركز الأرض وموقعه بالنسبة للمستوي الاستوائي المرجعي ومركز الأرض أيضا. وحساب إحداثيات السرعة المدارية له من العناصر المدارية. التي تم الحصول عليها من الفقرة (4-2-1). وقد تم بناء برنامج حاسوبي بلغة (Quick Basic) للحصول على مركبات الموقع والسرعة للقمر الصناعي في لحظة زمنية معينة من خلال العناصر المدارية. حسب الخوارزمية الموجودة في المخطط الانسيابي (C-2) وحسب الخطوات التالية:

1- يتم إدخال قيم العناصر المدارية للقمر الصناعي التي يتم الحصول عليها من رصدات البرنامج السابق.

2- يتم حساب قيمة معدل الحركة المدارية (Mean Motion) من العلاقة (3-26) وقيمة معدل الانحراف (Mean Anomaly) من المعادلة (3-28).

3- ثم يتم حساب قيمة الانحراف الشاذ (Eccentric Anomaly) عن طريق حل معادلة كبلر المعتمدة على الزمن بطريقة نيوتن_رفسن حسب المعادلات (3-32)،(3-33).

4- من قيمة الانحراف الشاذ (E) يتم حساب بعد القمر الصناعي R عن مركز الأرض. ومركبات الموقع (x_w, y_w, z_w) ضمن مداره من المعادلات (3-29)،(3-30)،(3-31) ونحسب قيمة السرعة المدارية ومركباتها ($\dot{x}_w, \dot{y}_w, \dot{z}_w$) من العلاقات (3-41)،(3-42)،(3-43).

5- ولغرض حساب موقع القمر وسرعته المدارية بالنسبة لمستوي الاستواء يتم تحويل إحداثيات موقع القمر الصناعي من مستوي مداره إلى مستوي الاستواء باستخدام متجهات كاوس المعروفة بمصفوفة التحويل باستخدام المعادلات (3-47)، (3-48).

6- ويتم تحويل إحداثيات السرعة المدارية للقمر الصناعي من مستوي مداره إلى المستوي الاستوائي المرجعي باستخدام مصفوفة التحويل أيضا حسب المعادلات (3-49)،(3-50).

7- ثم يتم حساب قيمة زاوية الانحراف الحقيقي (True Anomaly) التي تعتمد على قيمة الانحراف الشاذ (E) حسب المعادلة (3-35) وتحسب زاوية مسار الطيران (Flight Path Angle) من المعادلتين (3-36)،(3-37).

(5-4) دراسة تغير معاملات المدار مع زاوية الانحراف الحقيقي :-

بعد الحصول على النتائج من تنفيذ البرنامج في الفقرة (4-3-1) يتم تجزئة مدة الدورة المدارية إلى 20 جزء وحساب إحداثيات الموقع والسرعة للقمر الصناعي وزاوية مسار الطيران والانحراف الحقيقي والانحراف الشاذ لكل جزء من هذه الأجزاء. حيث تم بناء برنامج حاسوبي لحساب بعد وسرعة القمر الصناعي ومعاملات المدار له بطريقة التكرار للفترات الزمنية المتعاقبة حسب المخطط الانسيابي (C-3) لكلا الحالتين وقد تم الحصول على النتائج من الجدولين (4-3)، (4-4).

جدول (3-4)

يبين تغير معاملات مدار القمر الصناعي المرصود لدورة واحدة لمدار الحرافه المركزي (e =0.01)

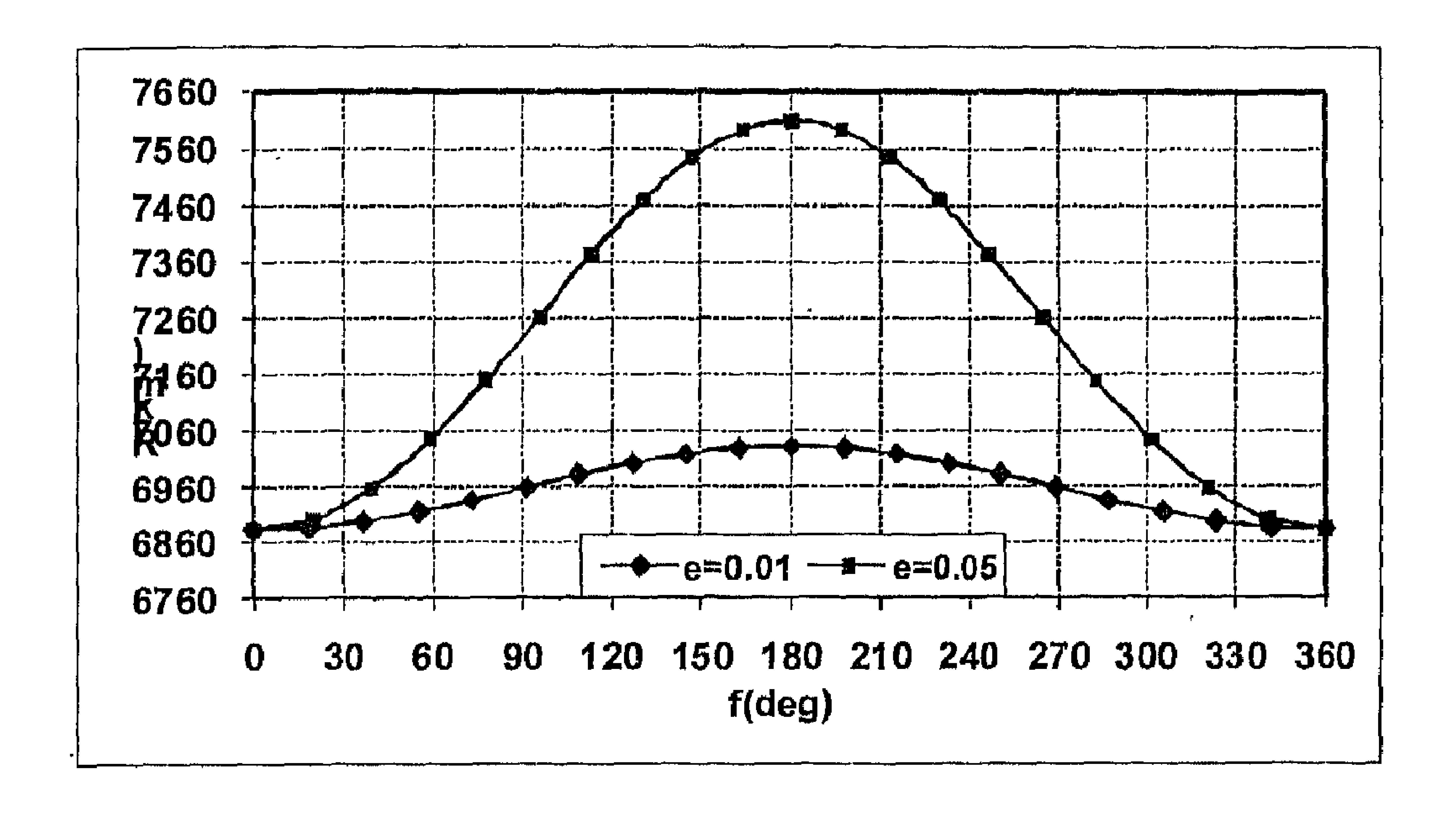
$t(min)$	f (deg)	$M(deg)$	$E(deg)$	$R(km)$	$V(km/sec)$	η (deg)
0	0	0	0	6883.2	7.650579	0
4.8153	18.385	18	18.192	6886.9	7.646469	0.19213
9.6306	36.731	36	36.365	6897.8	7.634579	0.364866
14.446	55.003	54	54.501	6914.5	7.616173	0.500942
19.261	73.175	72	72.587	6935.6	7.593173	0.587043
24.076	91.23	90	90.615	6958.8	7.567921	0.615098
28.892	109.16	108	108.58	6981.8	7.542926	0.582919
33.707	126.99	126	126.49	7002.4	7.520594	0.494201
38.522	144.71	144	144.36	7018.7	7.50302	0.357955
43.338	162.37	162	162.19	7029.1	7.491815	0.187512
48.153	180.14	180	180	7032.6	7.487986	-2.34E-03
52.968	197.77	198	197.81	7029	7.491877	-0.19047
57.784	215.43	216	215.64	7018.6	7.503139	-0.36048
62.599	233.16	234	233.5	7002.3	7.520757	-0.49605
67.414	250.98	252	251.42	6981.6	7.543119	-0.58391
72.229	268.91	270	269.38	6958.6	7.568127	-0.61513
77.045	286.97	288	287.41	6935.4	7.59337	-0.58611
81.86	305.14	306	305.5	6914.4	7.616343	-0.49913
86.675	323.42	324	323.64	6897.6	7.634704	-0.36236
91.491	341.76	342	341.81	6886.9	7.646534	-0.18917
96.306	360	360	360	6883.2	7.650578	1.54E-03

جدول (4-4)

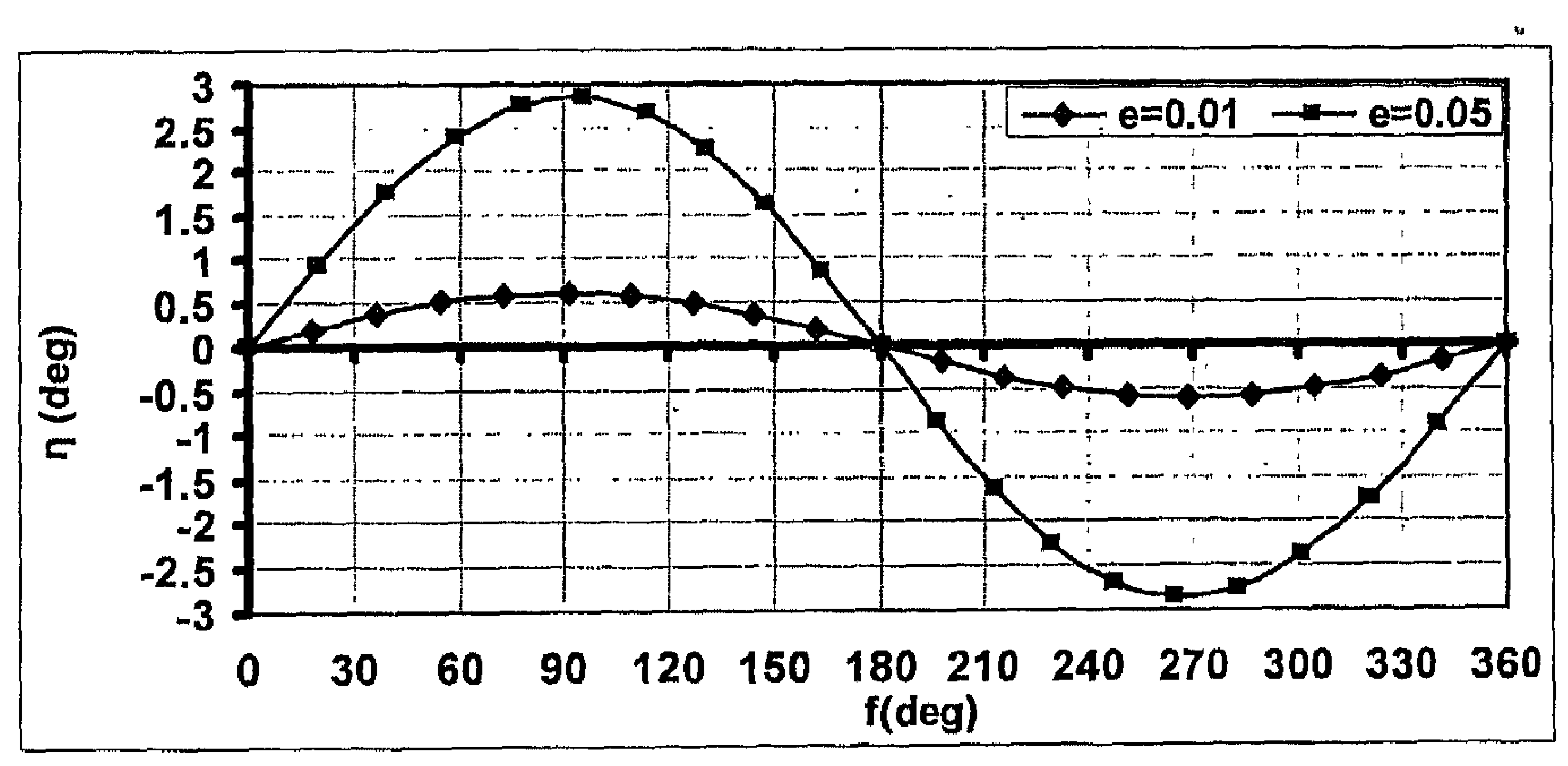
يبين تغير معاملات مدار القمر الصناعي المرصود لدورة واحدة لمدار الحرافه المركزي (e =0.05)

t(min)	*f(deg)*	*M(deg)*	*E(deg)*	*R(km)*	*V(km/sec)*	*η (deg)*
0	0	0	0	6883	7.798155	0
5.1173	19.885	18	18.931	6902.6	7.776994	0.931991
10.235	39.55	36	37.757	6959	7.716585	1.758525
15.352	58.813	54	56.389	7045.1	7.625342	2.39098
20.469	77.555	72	74.768	7150.7	7.514976	2.769208
25.586	95.727	90	92.865	7264.2	7.398144	2.865786
30.704	113.34	108	110.68	7374.3	7.286609	2.684019
35.821	130.47	126	128.25	7470.8	7.190164	2.252531
40.938	147.2	144	145.62	7545.6	7.116252	1.618934
46.056	163.67	162	162.84	7592.7	7.06999	0.843975
51.173	180.14	180	180	7608.8	7.054334	-0.01109
56.29	196.47	198	197.15	7592.5	7.070242	-0.85787
61.408	212.93	216	214.38	7545.1	7.116743	-1.63092
66.525	229.67	234	231.74	7470.1	7.190858	-2.2615
71.642	246.8	252	249.31	7373.5	7.287458	-2.68912
76.759	264.42	270	267.14	7263.3	7.399078	-2.86648
81.877	282.59	288	285.23	7149.8	7.515906	-2.76537
86.994	301.34	306	303.61	7044.3	7.62617	-2.38292
92.111	320.61	324	322.25	6958.5	7.717208	-1.74702
97.229	340.27	342	341.08	6902.3	7.777328	-0.91822
102.35	360	360	360.01	6883	7.798155	6.91E-03

ومن الجدولين تم الحصول على الأشكال التالية:-

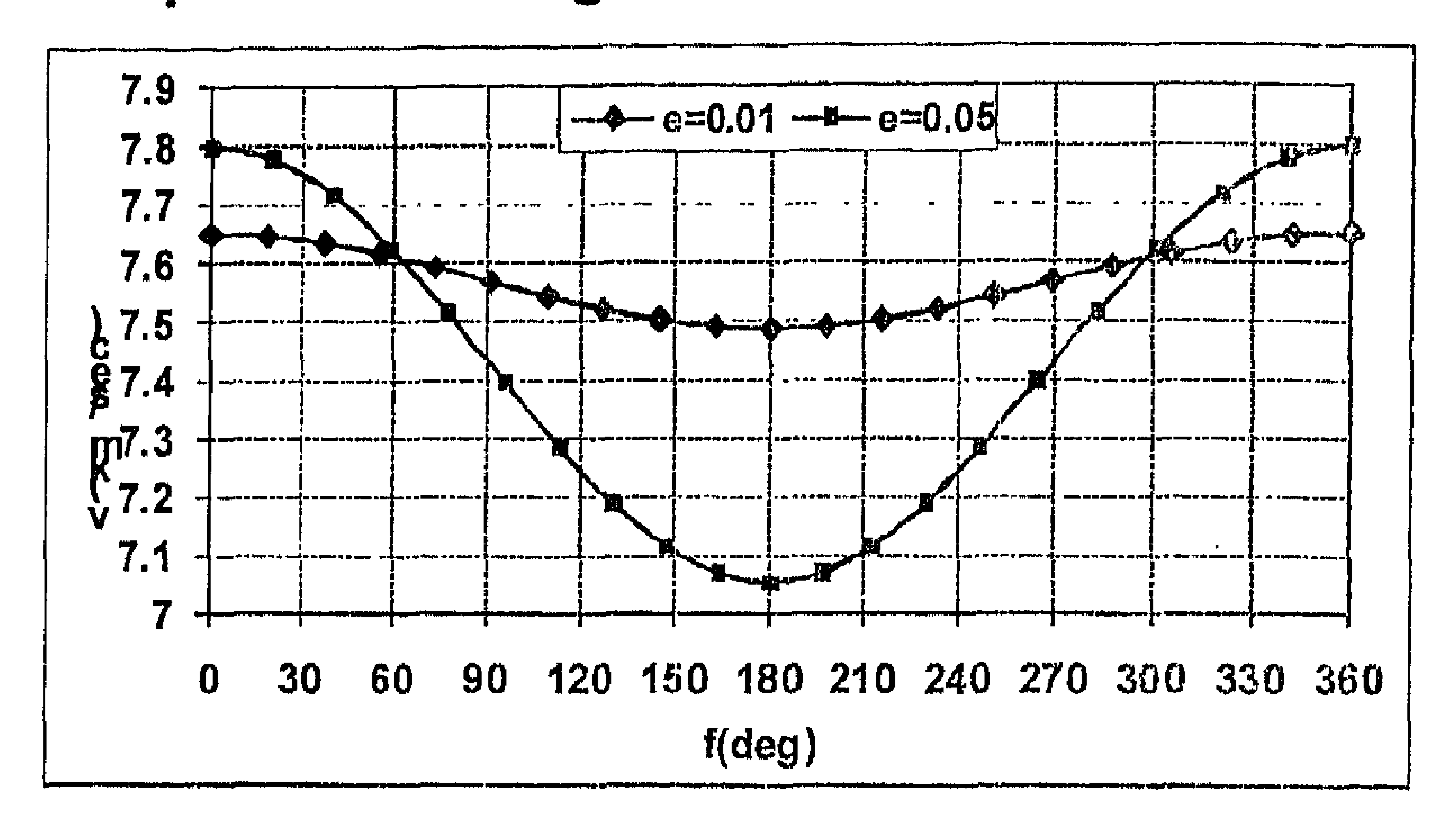


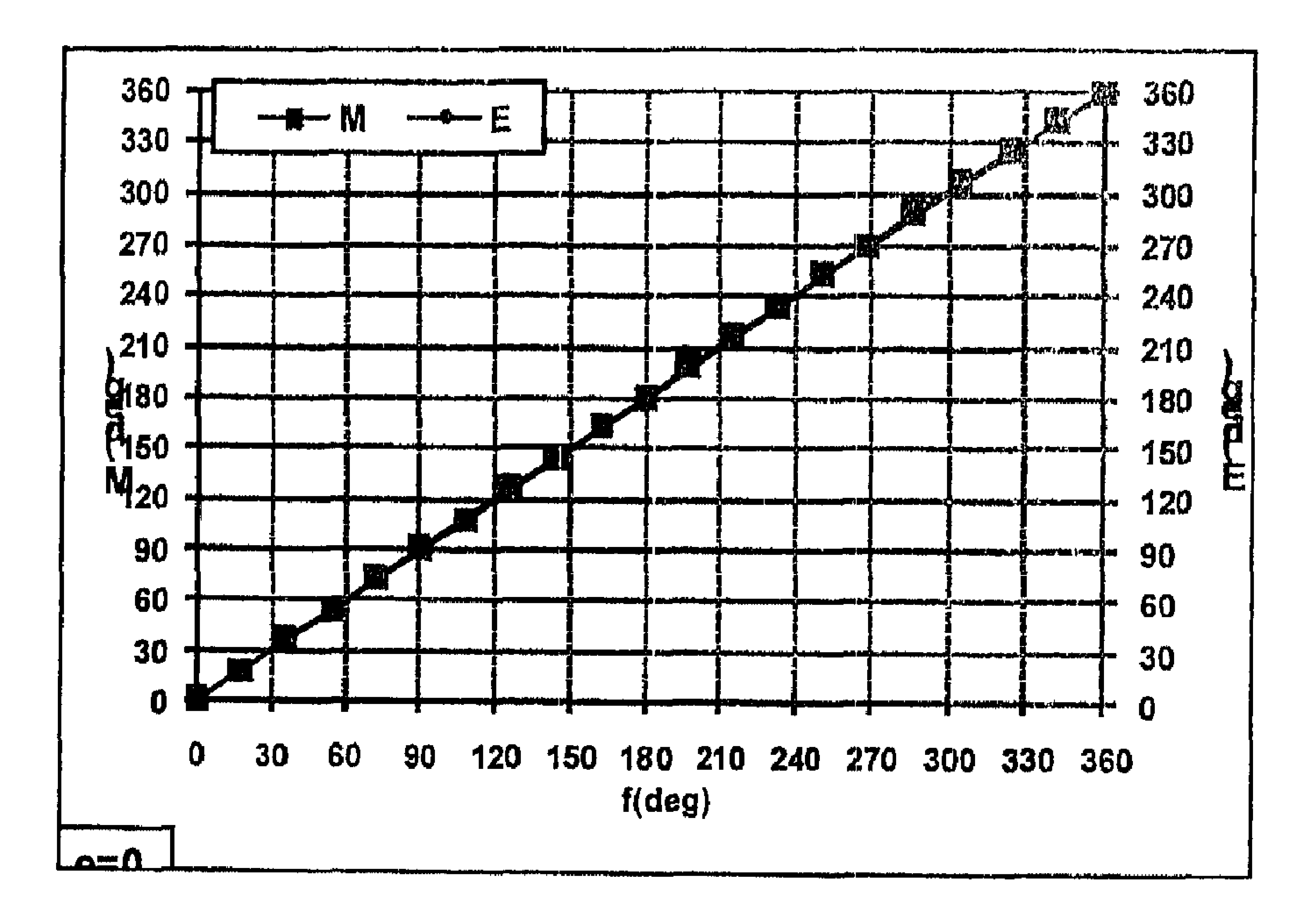
شكل (4-7) يبين تغير بعد القمر(R) مع تغير زاوية الانحراف الحقيقي (f)



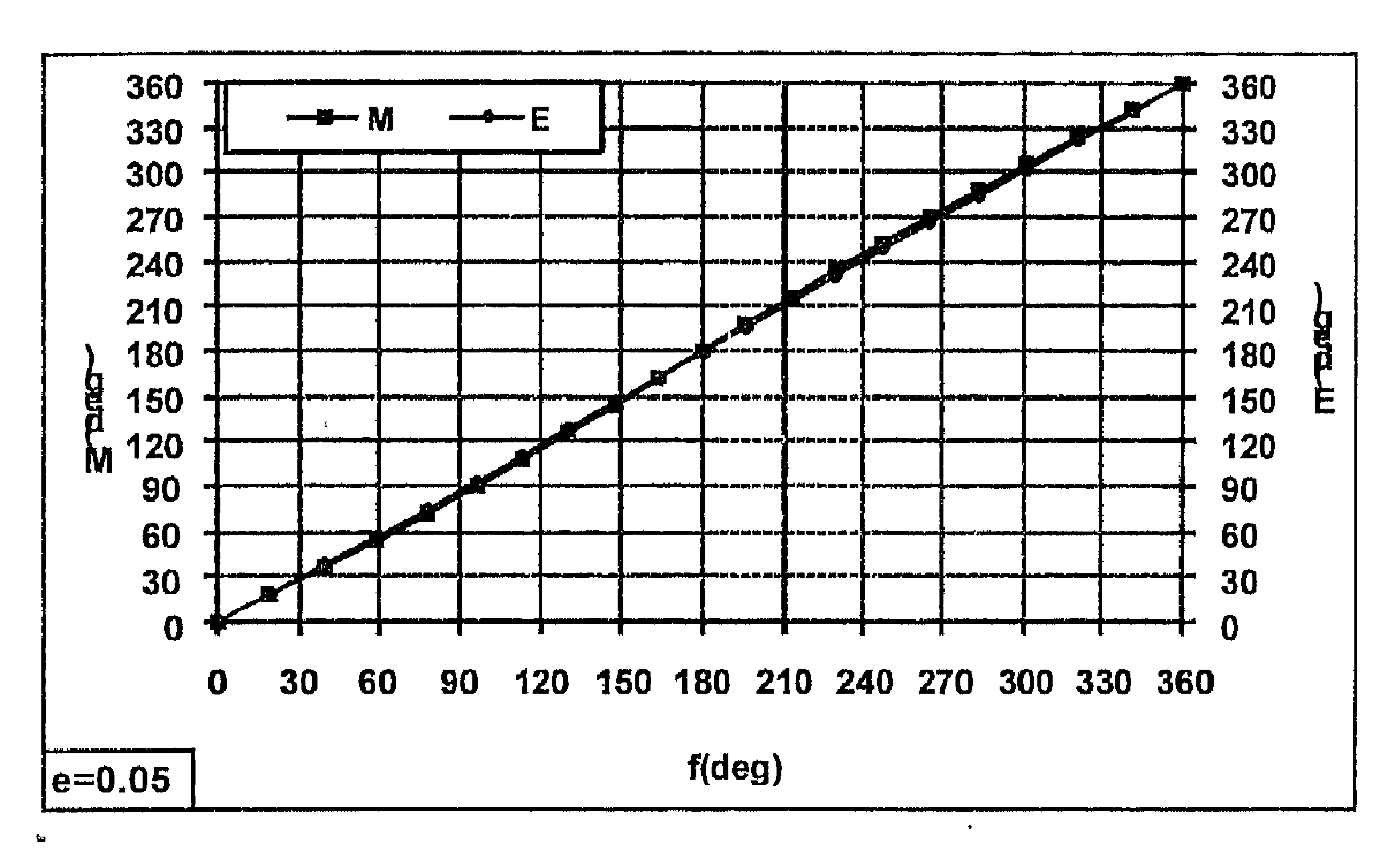
شكل (4-8) يبين تغير سرعة القمر(V) مع تغير زاوية الانحراف الحقيقي (f)

شكل (4-9) يبين تغير زاوية مسار الطيران(η) مع تغير زاوية الانحراف الحقيقي (f)





شكل (4 -10) يبين تغير زاوية معدل الانحراف (M) وزاوية الانحراف الشاذ (E) مع تغير زاوية الانحراف الحقيقي (f) لمدار انحرافه المركزي (e=0.01)



شكل (4 -11) يبين تغير زاوية معدل الانحراف (M) وزاوية الانحراف الشاذ (E) مع تغير زاوية الانحراف الحقيقي (f) لمدار انحرافه المركزي (e=0.05)

من الاشكال السابقة نجد ان:-

1 - الشكل (4-7) بين تغير بعد القمر الصناعي عن مركز الأرض (R) مع زاوية الانحراف الحقيقي (f) نلاحظ أن اقل قيمة للبعد (R) عندما تكون قيمة الزاوية ($f = 0^\circ, 360^\circ$) حيث يكون القمر الصناعي في اقرب نقطة إلى مركز الأرض (نقطة الحضيض) وأعلى قيمة للبعد (R) عندما تكون قيمة الزاوية ($f = 180^\circ$) وهي تمثل ابعد نقطة للقمر الصناعي عن مركز الأرض (نقطة الاوج) في الحالتين ونجد ان مقدار

التغير في البعد (R) بين نقطتي الاوج والحضيض يعتمد على قيمة الانحراف المركزي (e) للمدار وان العلاقة طردية حيث ان مقدار التغير في البعد للمدار الدائري يساوي صفر، ويلاحظ من الشكل أيضا أن العلاقة جيبية عندما يكون المدار ثابت (بدون اضطراب) وهذا صحيح وفق العلاقة:

$$R = \frac{a\left(1-e^{2}\right)}{1+eCosf}$$

2 – الشكل (4-8) يبين تغير قيمة السرعة المدارية (v) للقمر الصناعي مع زاوية الانحراف الحقيقي (f)، يلاحظ من الشكل أن أعلى قيمة للسرعة المدارية (v) عندما تكون قيمة زاوية الانحراف الحقيقي ($f = 0^{o},360^{o}$) واقل قيمة للسرعة المدارية عندما تكون قيمة الزاوية ($f = 180^{o}$) حيث ان تغير قيمة السرعة المدارية (V) يكون مشابه لتغير البعد (R) كذلك نلاحظ ان العلاقة جيبية وتختلف عن الشكل (4-7) بفرق الطور(180^{o}) وان مقدار التغير في قيمة السرعة المدارية بين نقطتي الآوج والحضيض يعتمد على قيمة الانحراف المركزي للمدار أيضا.

3 – في الشكل (4-9) يبين تغير مسار الطيران (η) مع زاوية الانحراف الحقيقي (f)، حيث نلاحظ أن قيم زاوية مسار الطيران ($\eta = 0$) عندما تكون قيمة الزاوية ($f = 0^{o},180^{o},360^{o}$) وأعلى قيمة لـ($\eta$) عندما تكون ($f = 90^{o}$) واقل قيمة سالبة لها عندما تكون ($f = 270^{o}$) ويعزى ذلك إلى أن زاوية مسار الطيران هي الزاوية المكملة للزاوية (η) المحصورة بين قيمة البعد عن المركز (R) ومتجه السرعة المدارية ($\bar{V}$) بحيث أن مجموعها يساوي (90^{o}) لذلك نلاحظ أن قيمة الزاوية (η) تساوي صفر عند الحضيض والاوج لان متجه السرعة المدارية يكون عمودي على متجه البعد عن مركز الأرض عند تلك القيمتين فقط لمسار القطع الناقص. وتقل قيمة الزاوية بين المتجهين كلما ازدادت قيمة الزاوية (f) حتى تصل إلى اقل قيمة لها عندما تكون

($f=90^\circ$) والذي يمثل أعلى قيمة للزاوية المكملة (η). ثم تبدأ الزاوية بين المتجهين بالزيادة إلى إن تصل إلى (90°) عندما تكون ($f=180^\circ$).

وعند زيادة قيمة الزاوية f إلى اكثر من 180° يزداد الانفراج بين المتجهين مما يجعل الزاوية (η) سالبة واكثر انفراج بين المتجهين عندما تكون قيمة الزاوية ($f=270^\circ$) ثم يبدأ الانفراج بالتناقص مع زيادة قيمة f اكثر من 270° إلى أن يعود المتجهان إلى التعامد عندما تكون قيمة ($f=360^\circ$) عند الحضيض وهذا يحقق المعادلتين (3-36)،(3-37). أن عملية تحديد موقع أعلى واقل قيمة لزاوية مسار الطيران على المدار يعتمد على قيمة الانحراف المركزي (e) حيث أن قيمة الزاوية $\eta=0$ دائما للمسار الدائري. وهذه الزاوية مهمة في عملية استمرار القمر الصناعي في مساره عن طريق التحكم بها.

4 - يمثل الشكل (4-10) و (4-11) تغير زاوية معدل الانحراف (M) وزاوية الانحراف الشاذ (E) مع زاوية الانحراف الحقيقي (f) لقمرين يختلف مدارهما في الانحراف المركزي. من الشكل (4-10) نجد أن قيم كل من معدل الانحراف والانحراف الشاذ متقاربة جدا فيما بينها وذلك لكون الانحراف المركزي للمدار صغير جداً ($e=0.01$) لاحظ الجدول (4-1). ومن الشكل (4-11) نجد ان الفرق بين معدل الانحراف والانحراف الشاذ اكبر من الشكل (4-10) بسبب زيادة قيمة الانحراف المركزي للمدار وهذا يدل على ان قيمة الفرق تزداد بزيادة الانحراف المركزي للمدار، ولو دققنا في الجدولين (4-3)، (4-4) نجد ان قيم الانحراف الشاذ ومعدل الانحراف تتطابق عند الاوج والحضيض وينحني مسار الانحراف الشاذ عن الخط المستقيم لمعدل الانحراف بين الاوج والحضيض وهذا ما يطابق الدراسات السابقة.

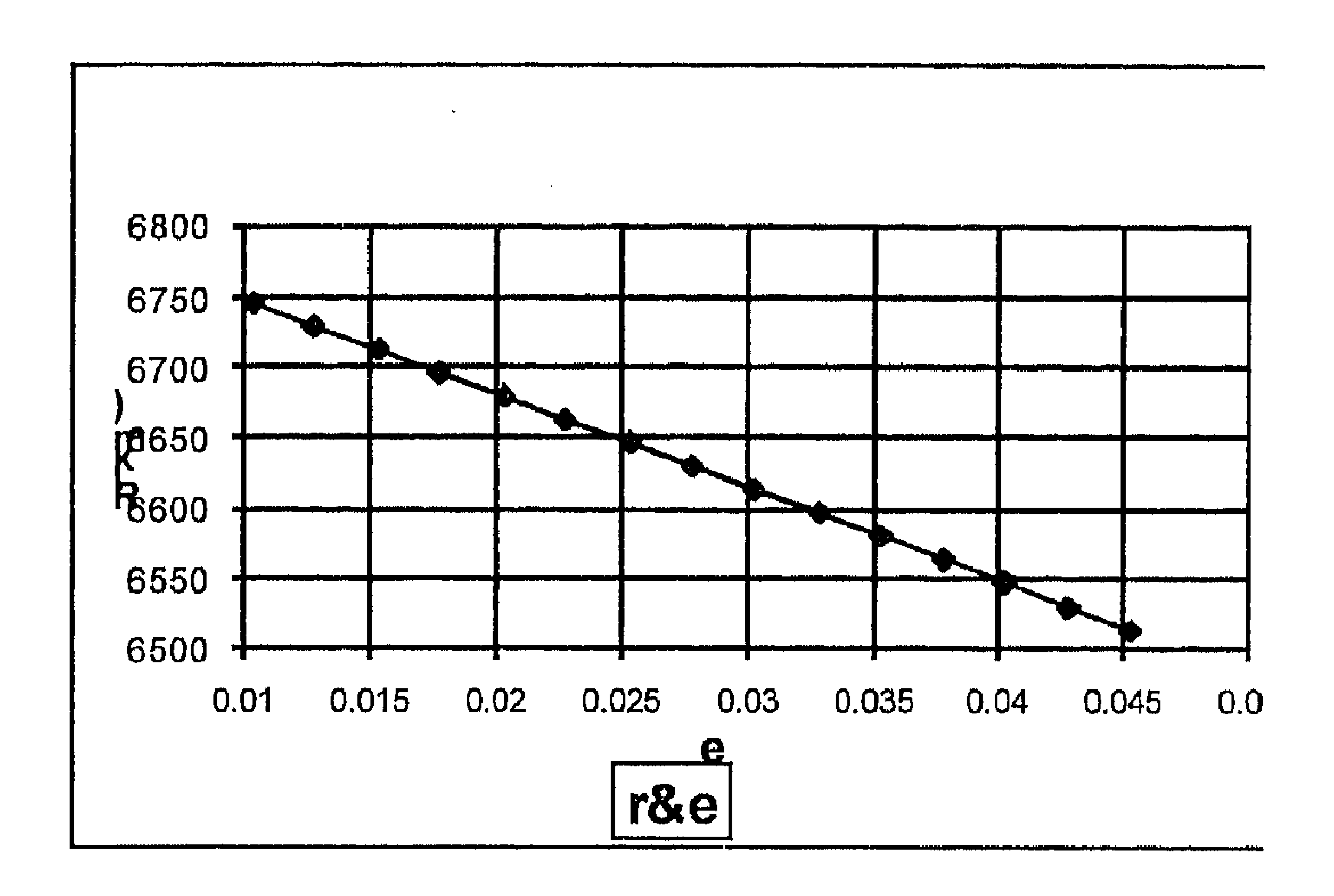
(6-4) دراسة تغير البعد والسرعة المدارية لقيم مختلفة للانحراف المركزي:-

لغرض دراسة تأثير اختلاف قيم الانحراف المركزي (e) على بعد القمر الصناعي عن مركز الأرض وسرعته المدارية عند ثبوت نصف المحور الكبير للمدار (a).يتم استخدام نفس النتائج التي تم الحصول عليها من الفقرة السابقة، حيث تم بناء برنامج حاسوبي لحساب بعد وسرعة القمر الصناعي لعدة مدارات مختلفة الانحراف المركزي (e) حسب المخطط (C-4) حيث يعتمد البرنامج على طريقة التكرار لقيم متتالية للانحراف المركزي الفرق بينها (0.0025) وحصلنا على النتائج حسب الجدول (4-5).

M=348.8423 ; a=6816.04		
e	R	V
1.03E-02	6747	7.725
1.28E-02	6731	7.744
1.53E-02	6714	7.763
1.78E-02	6697	7.782
2.03E-02	6680	7.801
2.28E-02	6664	7.82
2.53E-02	6647	7.839
2.78E-02	6630	7.858
3.03E-02	6614	7.878
3.28E-02	6597	7.897
3.53E-02	6580	7.916
3.78E-02	6564	7.936
4.03E-02	6547	7.955
4.28E-02	6530	7.975
4.53E-02	6514	7.994

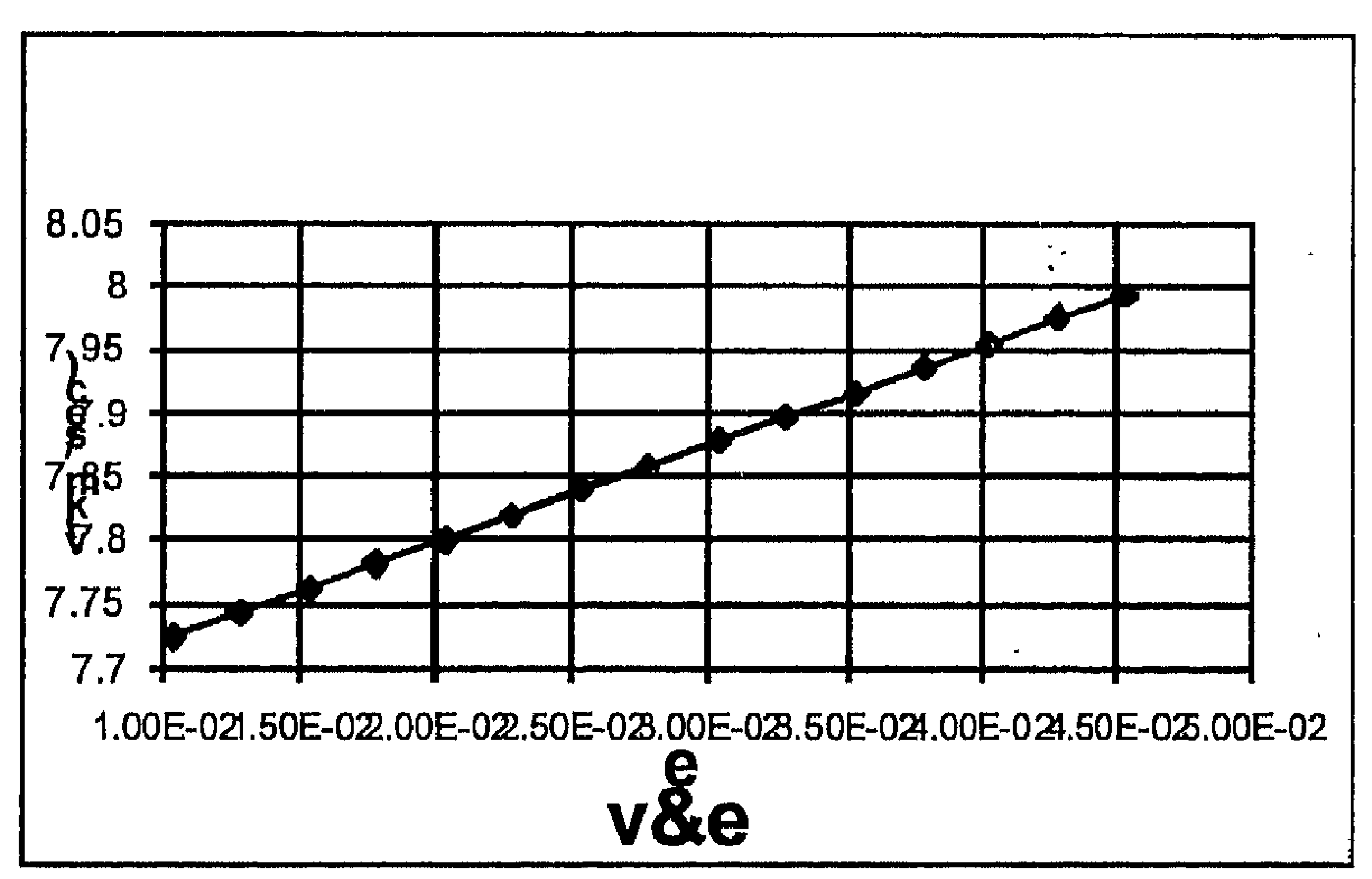
جدول (4-5)

يبين تأثير تغير الانحراف المركزي على بعد وسرعة القمر الصناعي



شكل (4 -12)

ويمثل تغير بعد القمر الصناعي مع الانحراف المركزي وبثبوت a،M



شكل (4 -13)

يمثل تغير السرعة المدارية للقمر الصناعي مع الانحراف المركزي وبثبوت a،M

i- الشكل (11-4) يمثل تغير بعد القمر الصناعي (R) عن مركز الأرض مع تغير قيم الانحراف المركزي (e)، يلاحظ بأنه كلما ازدادت قيم (e) تنخفض قيم البعد (R). عند ثبوت قيمة نصف المحور الكبير للمدار(a). وهذا يدلنا إلى حقيقة مهمة هي إذا أردنا أن نضع قمر صناعي مستقر في مداره على بعد معين من مركز الأرض ونصف محور كبير ثابت ومعروف علينا أن نختار قيمة مناسبة للانحراف المركزي. أي كلما أردنا خفض بعد القمر الصناعي من سطح الأرض لأغراض الاستطلاع مثلاً لزم علينا زيادة الانحراف المركزي لمساره لكي يبقى مستقراً.

ii- ويمثل الشكل (12-4) تغير قيمة السرعة المدارية (V) مع تغير قيم الانحراف المركزي (e)، نلاحظ بأن قيمة السرعة المدارية تزداد بزيادة الانحراف المركزي عند قيمة معينة لنصف المحور الكبير (a) وهي بعكس العلاقة بين تغير البعد مع الانحراف المركزي. وهذه النتيجة تخدمنا إذا أردنا تحديد سرعة مدارية معينة للقمر الصناعي. عند مروره فوق منطقة معينة من سطح الكرة الأرضية بثبوت نصف المحور الكبير للمدار. علينا اختيار قيمة مناسبة للانحراف المركزي للمدار.

(7-4) دراسة تغير البعد والسرعة المدارية مع تغير نصف المحور الكبير:-

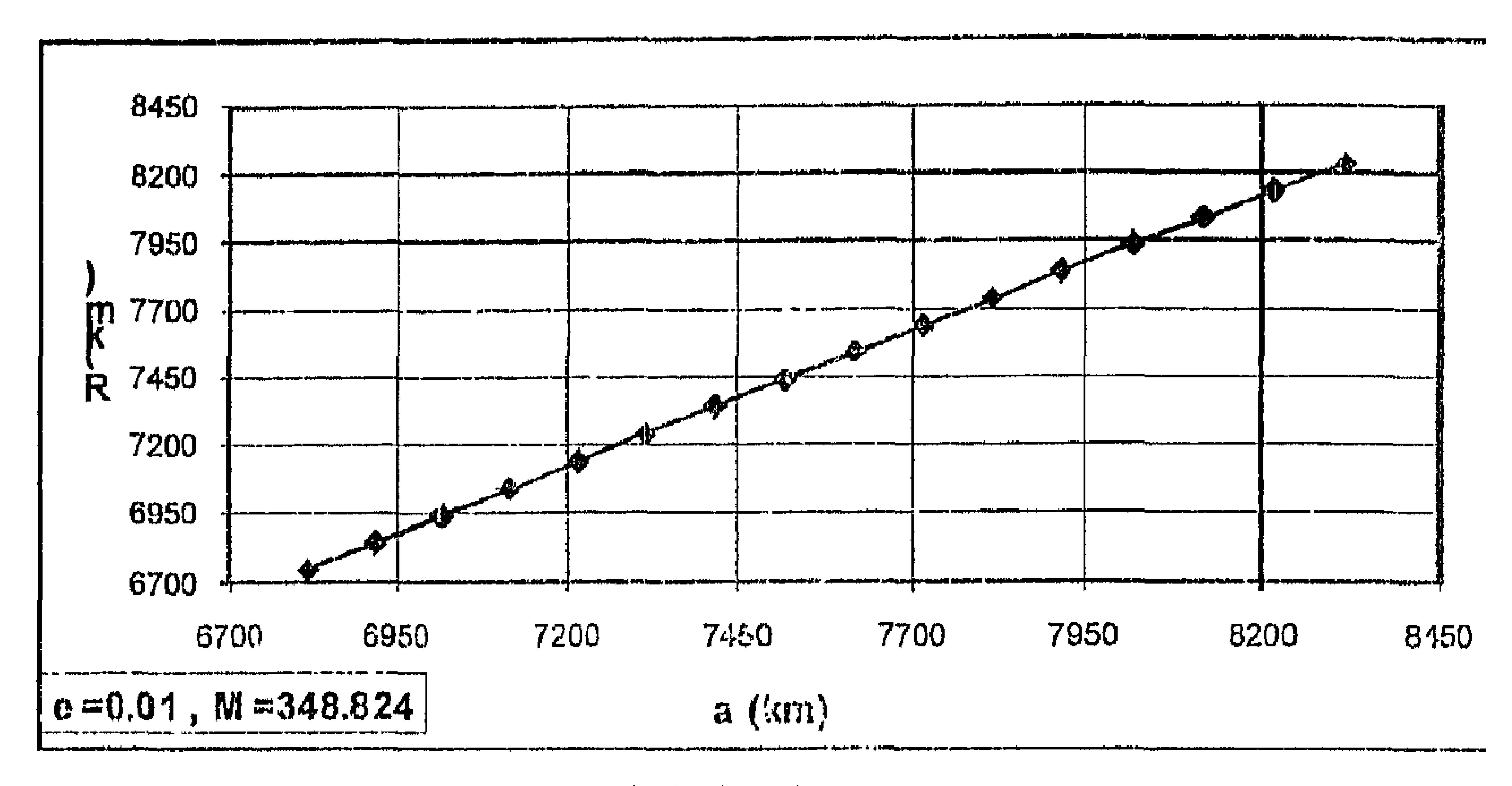
في هذه الفقرة تم دراسة تغير بعد القمر الصناعي عن مركز الأرض (R) وسرعته المدارية (V) مع تغير نصف المحور الكبير لمدار القمر (a) عند ثبوت قيمة الانحراف المركزي (e) ومعدل الانحراف (M) باستخدام نفس النتائج التي حصلنا عليها من الطريقة الأولى حيث تم بناء برنامج حاسوبي لحساب بعد وسرعة القمر الصناعي لعدة مدارات تكون مختلفة في قيمة نصف المحور الكبير باستخدام طريقة التكرار لقيم متتالية لـ(a) الفرق بينها (100) كم وتم الحصول على النتائج المبينة في في الجدول (6-4) أدناه.

a	R	V
6816	6747	7.725
6916	6846	7.669
7016	6945	7.614
7116	7044	7.56
7216	7143	7.508
7316	7242	7.456
7416	7341	7.406
7516	7440	7.356
7616	7539	7.308
7716	7638	7.26
7816	7737	7.214
7916	7836	7.168
8016	7935	7.123
8116	8034	7.079
8216	8133	7.036
8316	8232	6.993

جدول (6-4)

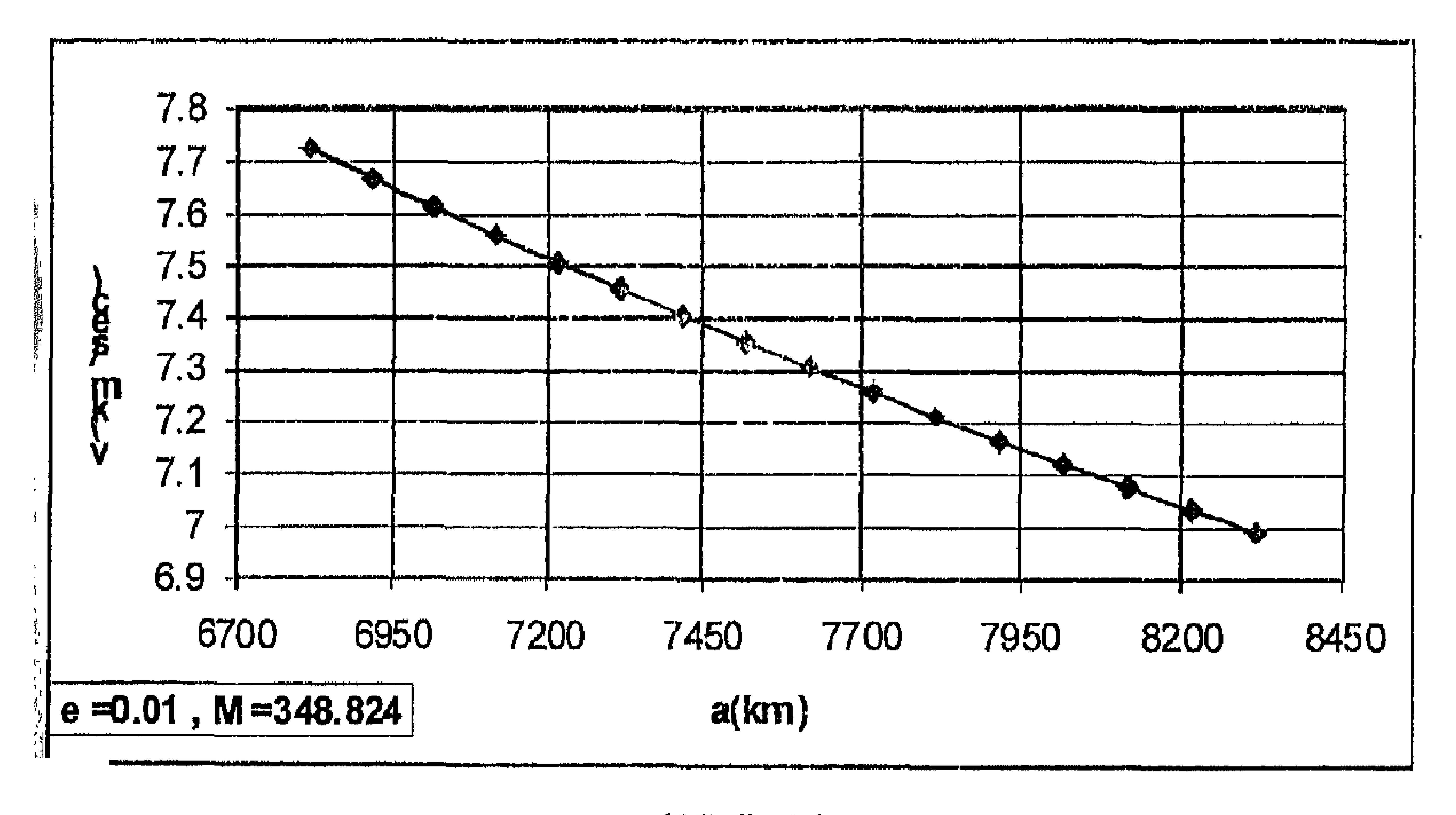
يمثل تغير البعد والسرعة مع نصف المحور الكبير بثبوت M)،(e

ومن الجدول أعلاه تم الحصول على الأشكال التالية:-



شكل (14-4)

يبين تغير البعد (R) مع نصف المحور الكبير (a).



شكل (15-4)

يمثل تغير السرعة المدارية (V) مع نصف المحور الكبير(a).

1 -يبين الشكل (4 -14) تغير قيمة بعد القمر الصناعي (R) عن مركز الأرض مع تغير قيم نصف المحور الكبير (a)، لقيمة معينة للانحراف المركزي (e) ومعدل الانحراف (M) نلاحظ أن قيمة البعد تزداد بزيادة قيمة نصف المحور الكبير لمدارات متشابه في الانحراف المركزي ونلاحظ أن العلاقة شبه خطية لان المدار ذو انحراف مركزي واطئ جداً ($e = 0.01$).

2 – الشكل (4 -15) يبين تغير قيم السرعة المدارية (V) مع تغير قيم نصف المحور الكبير (a)، بثبوت قيمة الانحراف المركزي (e) وزاوية معدل الانحراف (M) يلاحظ أن قيمة (V) التي تمثل السرعة المدارية عند زاوية محددة لمدارات مختلفة حيث قيمة (a) بزيادة قيمة (a) والعلاقة بينهم شبه خطية لكنها بعكس الفقرة (1) أعلاه.

من هذا نجد انه لا يمكن زيادة حجم المدار او زمن الدورة للقمر الصناعي مع ابقاء بعده وسرعته ثابتان عند زاوية انحراف حقيقي معينة حيث يزداد البعد وتقل السرعة، ألا إذا تم تغير شكل المدار أي تغير قيمة الانحراف المركزي (e).

(4-8) دراسة تغير السرعة عند الحضيض ونصف المحور الكبير وزمن الدورة مع بعد نقطة الحضيض :-

لقد تم دراسة تغير بعد نقطة الحضيض (R_p) عن مركز الأرض وتأثيرها على السرعة المدارية عند الحضيض (v_p) ونصف المحور الكبير للمدار (a) لقيمتين للانحراف المركزي (e 0.01=، 0.05) باستخدام نفس النتائج التي حصلنا عليها من الطريقة الاولى حيث تم بناء برنامج حاسوبي لحساب السرعة المدارية عند الحضيض ونصف المحور الكبير ومدة الدورة المدارية لمدارات مختلفة في قيمة بعد نقطة الحضيض عن مركز الأرض وتمتلك نفس قيمة الانحراف المركزي بطريقة التكرار لقيم متتالية من

(R_p) الفرق بينها (100) كم وقد حصلنا على النتائج الموضحة في الجدولين (-7) (4-8-4) أدناه.

Rp(km)	Vp(km/sec)	a(km)	pd(min)
6883.187	7.650579	6957.917	96.30592
6983.187	7.595603	7059.003	98.41225
7083.187	7.541795	7160.088	100.5337
7183.187	7.489115	7261.174	102.6702
7283.187	7.437523	7362.26	104.8216
7383.187	7.386984	7463.346	106.9878
7483.187	7.337461	7564.431	109.1688
7583.187	7.28892	7665.517	111.3644
7683.187	7.241331	7766.603	113.5745
7783.187	7.194661	7867.688	115.799
7883.187	7.148883	7968.774	118.0379
7983.187	7.103967	8069.86	120.291
8083.187	7.059887	8170.945	122.5583
8183.187	7.016618	8272.031	124.8396
8283.188	6.974135	8373.117	127.1349
8383.188	6.932414	8474.203	129.4441
8483.188	6.891433	8575.289	131.7672
8583.188	6.851171	8676.374	134.1039
8683.188	6.811605	8777.46	136.4543
8783.188	6.772718	8878.546	138.8183
8883.188	6.734489	8979.632	141.1958

جدول (4-7)

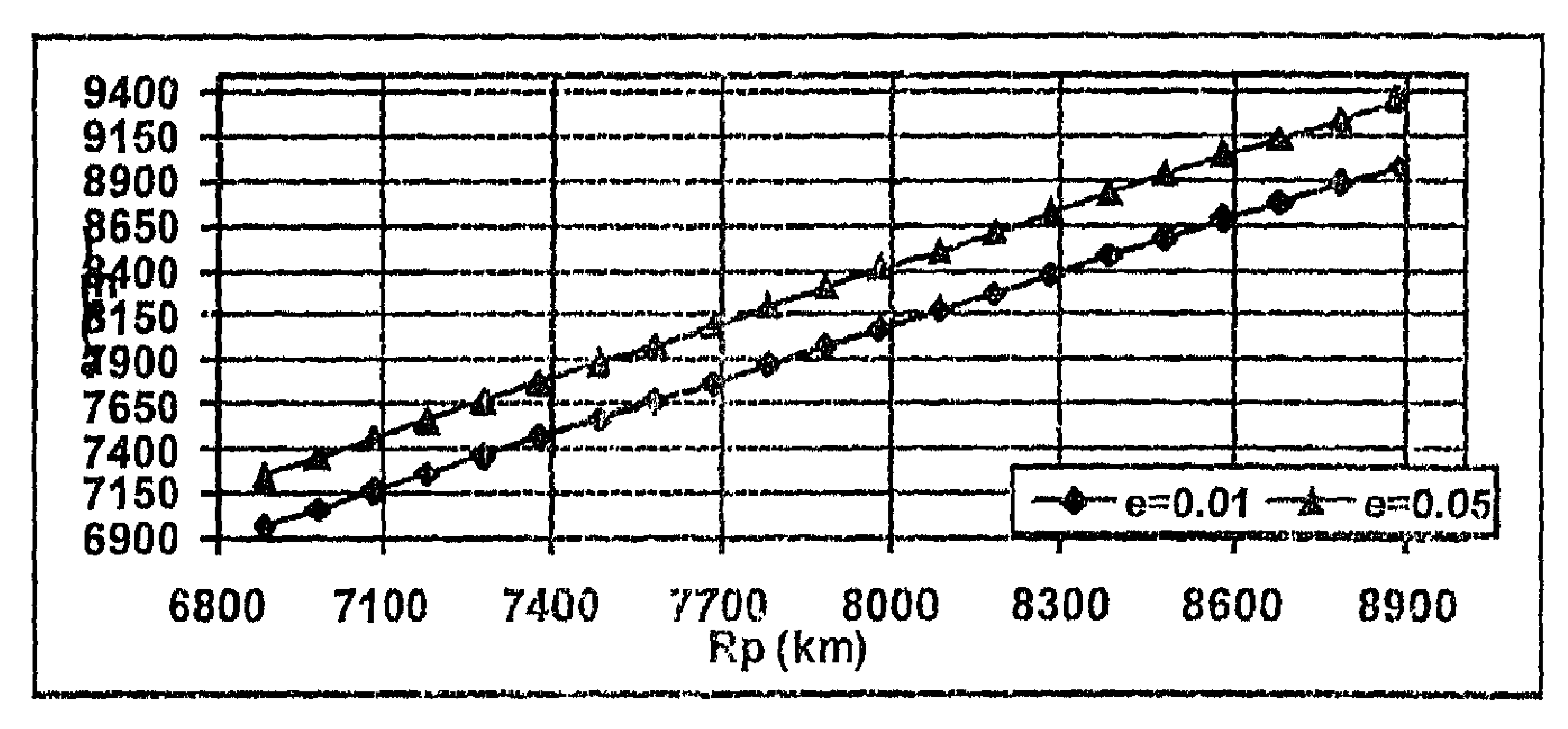
يمثل تغير السرعة عند الحضيض (Vp) ونصف المحور الكبير (a) ومدة الدورة المدارية (Pd) مع بعد الحضيض (Rp) عندما (e=0.01).

Rp(km)	*Vp(km/sec)*	*a(km)*	*pd(min)*
6882.995	7.798156	7245.873	102.3458
6982.995	7.742118	7351.145	104.5843
7082.995	7.687271	7456.417	106.8389
7182.995	7.633573	7561.689	109.1095
7282.995	7.580985	7666.961	111.3959
7382.995	7.529469	7772.233	113.698
7482.995	7.47899	7877.506	116.0158
7582.995	7.429512	7982.778	118.3492
7682.995	7.381003	8088.05	120.6979
7782.995	7.333432	8193.322	123.062
7882.995	7.286769	8298.594	125.4414
7982.995	7.240986	8403.866	127.8359
8082.995	7.196055	8509.139	130.2454
8182.995	7.15195	8614.41	132.6699
8282.994	7.108647	8719.682	135.1092
8382.994	7.066121	8824.954	137.5634
8482.994	7.024349	8930.227	140.0322
8582.994	6.983308	9035.498	142.5155
8682.994	6.942979	9140.771	145.0135
8782.994	6.903341	9246.043	147.5258
8882.994	6.864374	9351.314	150.0524

جدول (8-4)

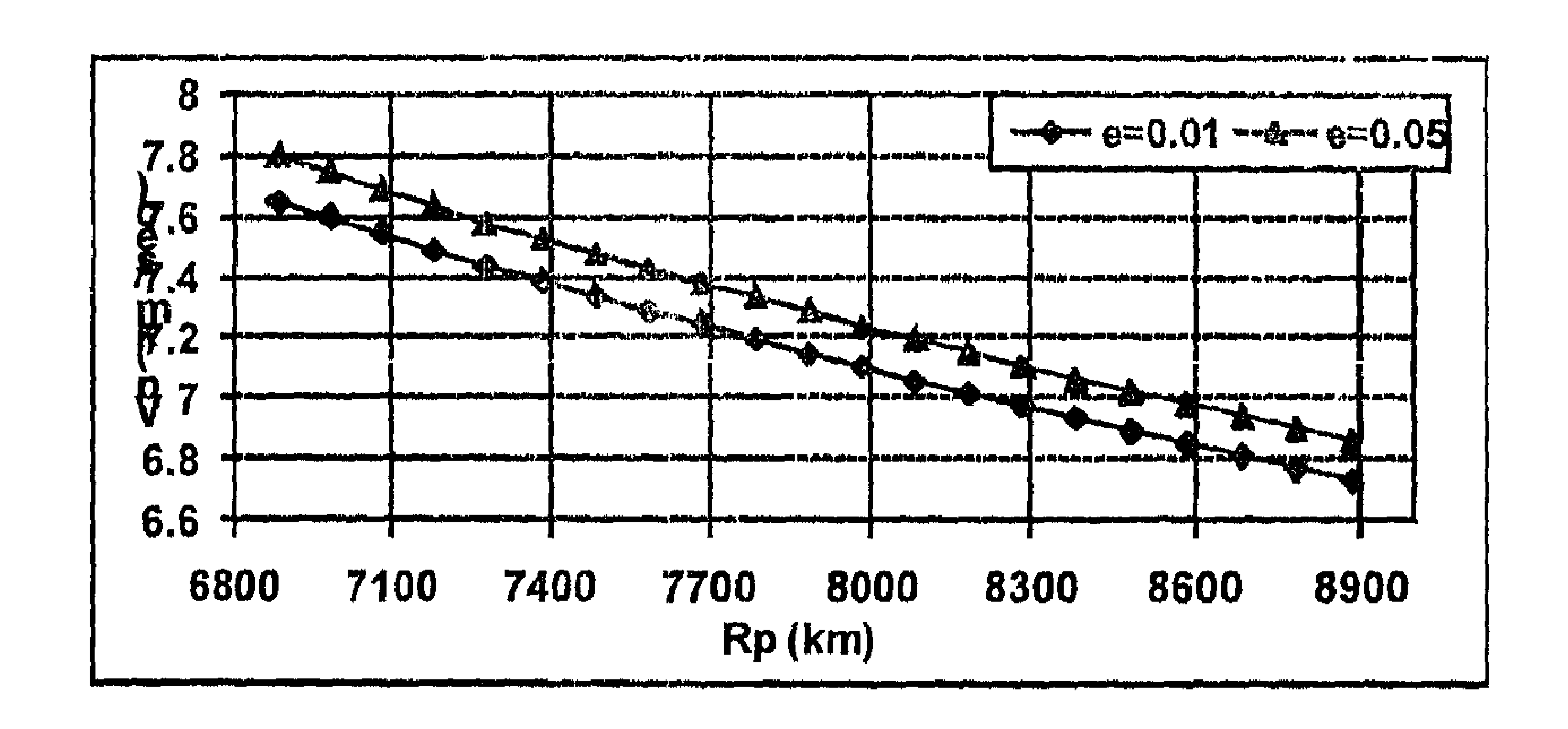
يمثل تغير السرعة عند الحضيض (Vp) ونصف المحور الكبير (a) ومدة الدورة المدارية (Pd) مع بعد الحضيض (Rp) عندما (e=0.05)

ومن الجدولين أعلاه حصلنا على الأشكال التالية:-



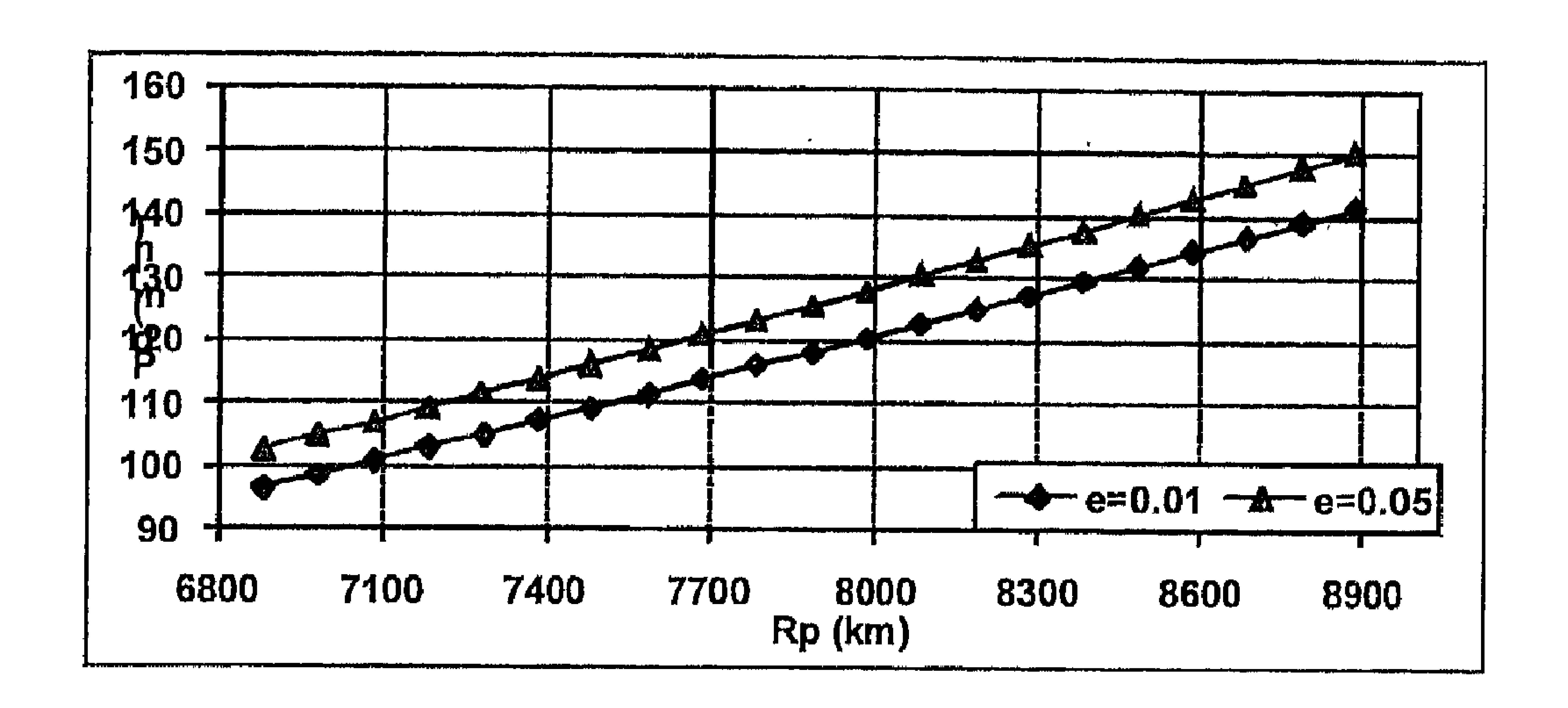
شكل (4 -16)

يبن تغير نصف المحور الكبير (a) مع تغير بعد الحضيض (Rp)



شكل (4 -17)

يبن تغير السرعة عند الحضيض (Vp) مع تغير بعد الحضيض (Rp)



شكل (4 -18)

يبن تغير مدة الدورة المدارية (Pd) مع تغير بعد الحضيض (R*p*)

1- شكل رقم (4-16) يبين تغير نصف المحور الكبير (a) للمدار مع تغير بعد نقطة الحضيض (R_p) عن مركز الأرض عند ثبوت قيمة الانحراف المركزي (e) نلاحظ ان العلاقة بينها طردية أي يمكن التحكم بقيمة نصف المحور الكبير عن طريق زيادة أو نقصان بعد نقطة الحضيض عن مركز الأرض عندما يكون الانحراف المركزي ثابتاً وهي علاقة خطية يعتمد ميلها على قيمة الانحراف المركزي وكما مبين في العلاقة الرياضية التالية:

$$a=\frac{R_p}{(1-e)}=\left(\frac{1}{1-e}\right)R_p=slop\ R_p$$

2- شكل رقم (4-17) يبين تغير السرعة المدارية عند الحضيض (V_p) مع تغير بعد نقطة الحضيض (R_p) عن مركز الأرض عند ثبوت الانحراف المركزي يلاحظ انخفاض قيمة السرعة المدارية عند الحضيض مع زيادة قيمة البعد لنفس النقطة عن مركز

الأرض، والعلاقة عكسية. هذا يدل على أننا يمكن ان نتحكم بسرعة القمر الصناعي من خلال التحكم ببعد نقطة الحضيض عن مركز الأرض، وهذا يحقق العلاقة التالية:-

$$V^2 = \mu \left(\frac{2}{R} - \frac{1}{a}\right)$$

3 – شكل رقم (4-18) يمثل تغير مدة الدورة المدارية (Pd) مع تغير بعد نقطة الحضيض (R_p) عن مركز الأرض بثبوت الانحراف المركزي (e) حيث نجد ان العلاقة طردية. ويمكن التحكم بمدة الدورة المدارية عن طريق التحكم ببعد نقطة الحضيض عن مركز الأرض حسب قانون كبلر الثالث.

$$Pd^2 = 4\pi^2 a^3/\mu \square$$

حيث $a = \frac{R_p}{(1-e)}$

(4-9) دراسة تغير قيمة الانحراف المركزي مع بعد نقطة الحضيض :-

في هذه الفقرة تم دراسة تأثير تغير بعد نقطة الحضيض (R_p) عن مركز الأرض على قيمة الانحراف المركزي (e) للمدار عند ثبوت بقية العناصر المدارية، باستخدام نفس النتائج التي حصلنا عليها من الطريقة الأولى. وقد تم بناء برنامج حاسوبي لحساب تغير قيمة الانحراف المركزي لمدارات ذات قيم مختلفة لبعد نقطة الحضيض (R_p) ولقيمتين لنصف المحور الكبير (a) لكل حالة باستخدام طريقة التكرار لقيم متتالية من (R_p) بفارق صغير(5) كم لكي يبقى المدار واقعي ومتوازن. وقد حصلنا على النتائج في الجدولين (3-10) (3-11) التاليين.

Rp (km)	e
6883.187	1.07E-02
6888.187	1.00E-02
6893.187	9.30E-03
6898.187	8.58E-03
6903.187	7.87E-03
6908.187	7.15E-03
6913.187	6.43E-03
6918.187	5.71E-03
6923.187	4.99E-03
6928.187	4.27E-03
6933.187	3.55E-03
6938.187	2.84E-03
6943.187	2.12E-03
6948.187	1.40E-03
6953.187	6.80E-04

جدول (4 - 9)

يمثل تغير الانحراف المركزي (e) مع بعد الحضيض (Rp)

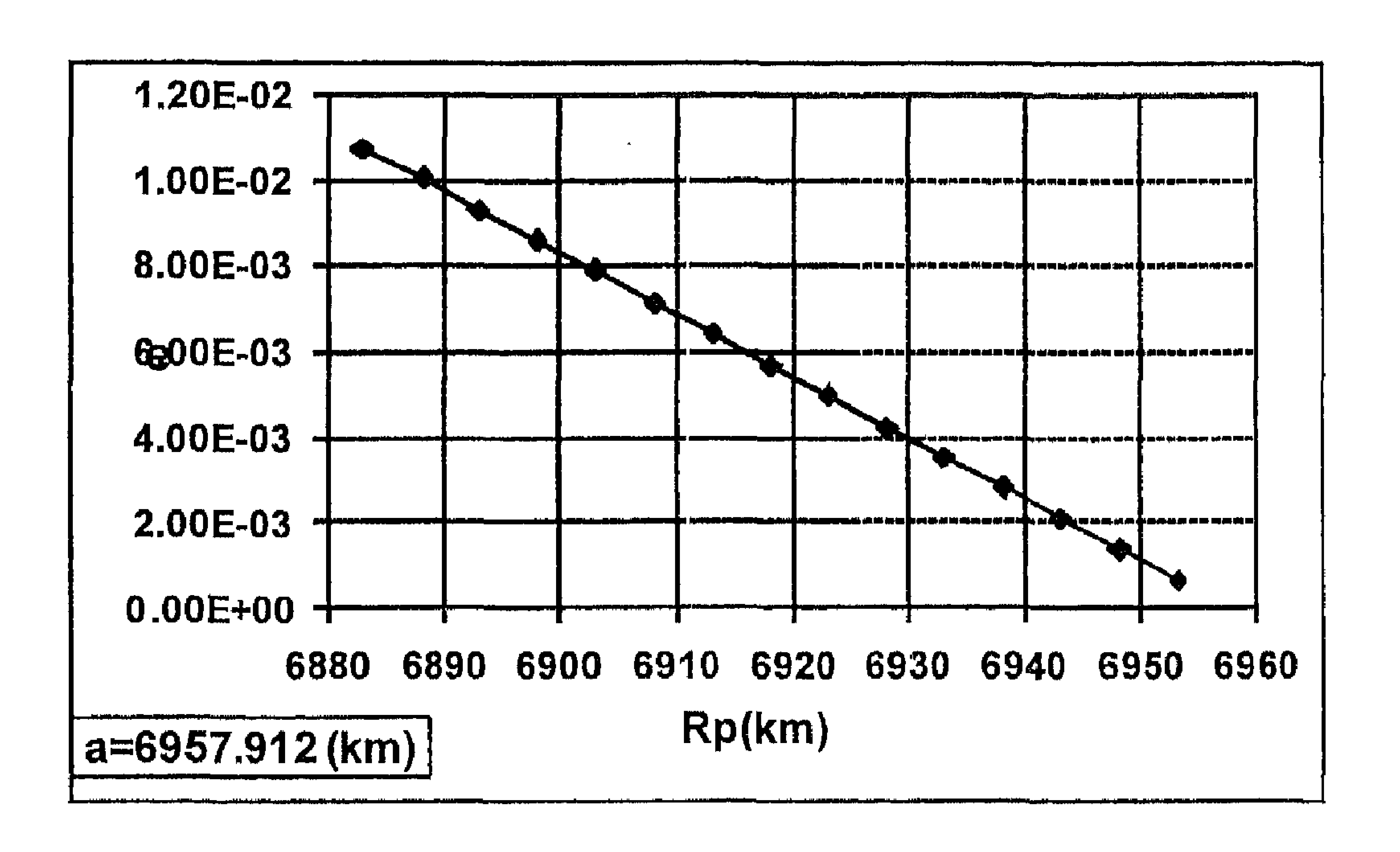
لمدار نصف محوره الكبير يساوي (a=6957.912 km)

Rp (km)	e
6882.995	0.05008
6907.995	4.66E-02
6932.995	4.32E-02
6957.995	3.97E-02
6982.995	3.63E-02
7007.995	0.03283
7032.995	2.94E-02
7057.995	2.59E-02
7082.995	2.25E-02
7107.995	1.90E-02
7132.995	0.01558
7157.995	1.21E-02
7182.995	8.68E-03
7207.995	5.23E-03
7232.995	1.78E-03

جدول (4 - 10)

يمثل تغير الانحراف المركزي (e) مع بعد الحضيض (Rp)

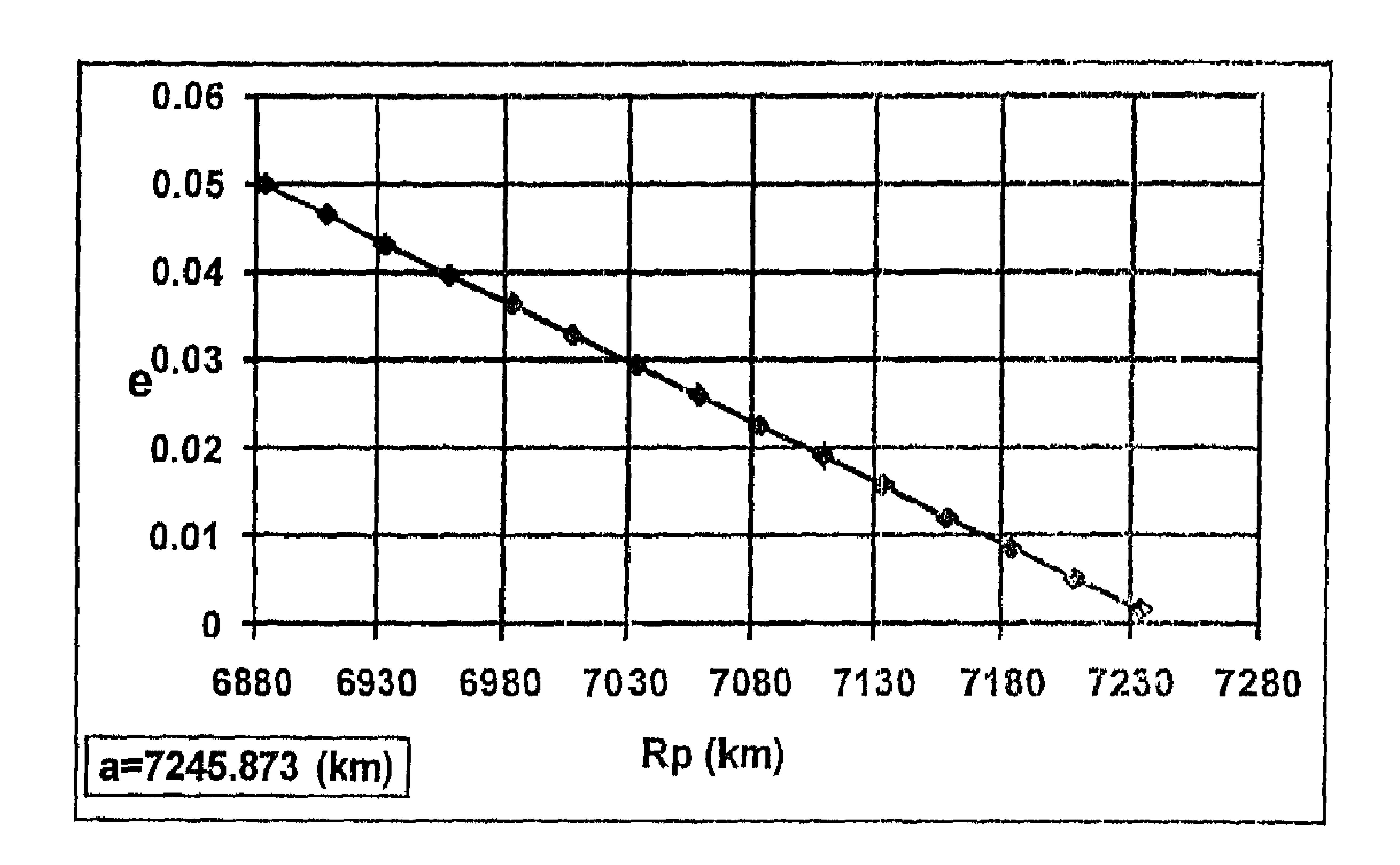
لمدار نصف محوره الكبير يساوي (a=7245.873 km)



شكل (4 -19)

يمثل تغير الانحراف المركزي (e) مع بعد الحضيض (Rp)

لمدار نصف محوره الكبير يساوي (a=6957.912 km)



شكل (4 -20)

يمثل تغير الانحراف المركزي (e) مع بعد الحضيض (Rp)

لمدار نصف محوره الكبير يساوي (a=7245.873 km)

وقد حصلنا على الشكلين (4-19) (4-20) والتي تمثل تغير الانحراف المركزي (e) مع تغير بعد نقطة الحضيض عن مركز الأرض (R_p) بثبوت قيمة نصف المحور الكبير للمدار (a) نلاحظ أن قيمة الانحراف المركزي تنخفض بزيادة قيمة (R_p) إلى أن تصل إلى أدنى قيمة لها ($e \approx 0$) عندما (Rp = a) فيصبح المدار دائري وهذا يثبت لنا بأننا يمكن أن نتحكم بشكل المدار من خلال تغير بعد نقطة الحضيض عن مركز الأرض عندما تكون قيمة نصف المحور الكبير ثابتة.

ويجدر الإشارة هنا إلى أن (e) لا تأخذ قيم سالبة وعندما يراد زيادة بعد الحضيض والإبقاء يزداد زمن الدورة.

(10 - 4) الاستنتاجات The Conclusion :-

1- من خلال حساب العناصر المدارية لمسار القمر الصناعي المرصود يمكن أيجاد موضعه وسرعته في أي زمن أخر وكذلك يمكن تحديد وقت مروره فوق أي نقطة على الأرض في الدورات اللاحقة إذا آخذنا بنظر الاعتبار تأثير الاضطرابات على العناصر المدارية.

2- من خلال تنفيذ البرنامج الخاص بحساب العناصر المدارية من الرصد وجدنا بأن أي تغير بسيط في قيم زوايا الرصد (الارتفاع أو الاتجاه) سوف يؤدي إلى نسبة تغير كبيرة في النتائج. وهذا يؤثر على إمكانية الحصول على عناصر مدارية دقيقة للقمر الصناعي المرصود مما يؤثر على دقة التنبأ بوقت مرور القمر مرة أخرى وموقعه لذا يجب توخي الدقة عند أجراء عملية الرصد.

3- زاوية مسار الطيران تساوي صفر في نقطتي الاوج والحضيض وقيمتها في المدار تعتمد على قيمة الانحراف المركزي له وهي للمسار الدائري تساوي صفر.

4- عند قيمة معينة لنصف المحور الكبير للمدار فأن العلاقة بين بعد القمر الصناعي عن مركز الأرض والانحراف المركزي للمدار علاقة عكسية وان العلاقة بين السرعة المدارية والانحراف المركزي علاقة طردية وعند قيمة معينة للانحراف المركزي فأن العلاقة بين نصف المحور الكبير للمدارمع بعد القمر الصناعي عن مركز الأرض او مع سرعته تكون معاكسة تماما للحالة الأولى. من هذا نستنتج بأن لا يمكن تغير شكل أو حجم مدار قمر صناعي معين والإبقاء على بعده وسرعته المدارية ثابتان في نقطة معينة من المدار عن طريق تغير نصف المحور الكبير وثبوت الانحراف المركزي أو بالعكس وانما بتغيرهما معاً.

5- يمكن التحكم بقيمة نصف المحور الكبير والسرعة المدارية ومدة الدورة المدارية للقمر الصناعي بتغير قيمة بعد نقطة الحضيض عن مركز الأرض عند ثبوت

قيمة الانحراف المركزي. وعند ثبوت قيمة نصف المحور الكبير يمكن التحكم بقيمة الانحراف المركزي للمدار عن طريق تغير قيمة بعد نقطة الحضيض له وذلك عن طريق تحديد السرعة الابتدائية للقمر الصناعي او عن طريق تغير السرعة لتعويض تعجيل الاضطراب او لتغيير شكل او حجم المدار.

6- عند اهمال الاضطرابات فأن العناصر الاتجاهية للمدار (i,Ω,ω) لاتتأثر بتغير واحد او اكثر من العناصر الشكلية للمدار (a,e,pd) والتي تتأثر ببعضها بشكل كبير.

ومن خلال ما تقدم ولغرض الوصول الى طرق أفضل واسهل لحساب العناصر المدارية لاي قمر صناعي في الفضاء بطريقة الرصد يمكن تطوير العمل المستقبلي ومحاولة تحقيق الاهداف التالية:

- حساب العناصر المدارية لمدارات الأقمار الصناعية واطئة الارتفاع عن طريق الرصد من محطة واحدة.
- حساب أوقات مرور الاقمار الصناعية واطئة الارتفاع من خط زوال الراصد بعد حساب تأثير الاضطرابات التي تحصل عليها.
- تطبيق النموذج المعد على الأقمار الصناعية التي يتم رصدها راديويا لغرض تغطية جميع الأقمار التي تمر خلال الليل أو النهار.
- يمكن الحصول على الاتجاه والارتفاع لقمر صناعي معروف من موضعين للرصد معلومة الاحداثيات والوقت عن طريق تطبيق البرنامج ثم اجراء الرصد له واجراء الحسابات في برنامجنا للحصول على عناصر مدارية واجراء المقارنة وهذا يتطلب اجهزة رصد.

الفصل الخامس

الملاحق

(1-5) الملحق (A) إشتقاق معادلة الحركة المدارية

(2-5) الملحق (B) تحويل الاحداثيات

(3-5) الملحق (C) البرامجيات المستخدمة

(4-5) الملحق (D) قائمة المصطلحات

الملاحق

(1-5) الملحق (A) :- اشتقاق معادلة السرعة المدارية :

يمكن كتابة معادلة المدار بدلالة الإحداثيات القطبية من خلال العلاقة الآتية:

$$R = \frac{P}{1 + e\cos f} \text{------------------------}(A\text{-}1)$$

وبتفاضل المعادلة أعلاه مع الزمن نحصل على:

$$\dot{R} = \frac{p}{(1 + e\cos f)^2} \cdot e\sin f \cdot \dot{f} \text{------------------------}(A\text{-}2)$$

وبما أنه

□

$$h = R^2 \dot{f} \text{------------------------}(A\text{-}3)$$

أذن المعادلة رقم (A-2) تصبح على النحو الآتي:

$$\dot{R} = \frac{h}{p} e\sin f \text{------------------------}(A\text{-}4)$$

وبإعادة كتابة المعادلة (A-3) على النحو الآتي:

$$R\dot{f} = \frac{h}{R}$$

$$= \frac{h}{R}(1 + e\cos f) \text{------------------------}(A\text{-}5)$$

وبتربيع وجمع المعادلتين (A-4)،(A-5) وبالتعويض في المعادلة أدناه:

$$V^2 = \dot{R}^2 + R^2 \dot{f}^2 \text{------------------------}(A\text{-}6)$$

حيث V تمثل السرعة المدارية للقمر الصناعي.

$\dot{R}$ هي المركبة النصف قطرية للسرعة.

$R\dot{f}$ هي المركبة المماسية للسرعة.

والمعادلة أعلاه تمثل معادلة السرعة بدلالة الإحداثيات القطبية وبعد التعويض نحصل على:

$$V^2 = \frac{h^2}{p^2}\left(1 + 2e\cos f + e^2\right)$$

أو

$$V^2 = \frac{h^2}{p^2}\left(2 + 2e\cos f - \left(1 - e^2\right)\right) \text{------------------(A-7)}$$

باستخدام المعادلة (A-1) ونعوضها في المعادلة (A-2) نحصل على:

$$V^2 = \frac{2h^2}{Rp} - \left(\frac{h}{p}\right)^2\left(1 - e^2\right)$$

$$V^2 = \frac{h^2}{p}\left[\frac{2}{R} - \frac{\left(1 - e^2\right)}{p}\right] \text{------------------(A-8)}$$

$$\frac{h^2}{\mu} = p \text{،} \quad p = a\left(1 - e^2\right)$$

يمكن كتابة المعادلة (A-8) على النحو الأتي:

$$V^2 = \mu\left(\frac{2}{R} - \frac{1}{a}\right) \text{------------------(A-9)} \square$$

أن المعادلة أعلاه تمثل معادلة السرعة المدارية للقمر الاصطناعي والتي تعتمد على نصف المحور الكبير للمدار وعلى المسافة النصف قطرية.

السرعة عند الحضيض (V_p) والأوج (V_a) نستطيع الحصول عليها بالتعويض عن R_a, R_p على التوالي ضمن المعادلة (A-9) فعندما يكون موقع القمر الاصطناعي عند الحضيض فأن زاوية الانحراف الحقيقي (f = 0°) وبذلك فان معادلة المدار (A-1) تصبح على النحو الأتي:

$$R_p = a(1-e) \text{------} (A\text{-}10)$$

وبالتعويض عن (R_p) في معادلة رقم (A-9) نحصل على:-

$$V_p = \sqrt{\frac{\mu}{a}\left(\frac{1+e}{1-e}\right)} \text{------} (A\text{-}11)$$

أما عندما يكون موقع القمر الاصطناعي عند الاوج (f $^\circ$0=) فأن:-

$$R_a = a(1+e) \text{------} (A\text{-}12)$$

وبالتعويض عن (R_p) في معادلة رقم (A-9) نحصل على:-

$$V_a = \sqrt{\frac{\mu}{a}\left(\frac{1-e}{1+e}\right)} \text{------} (A\text{-}13)$$ □

(2-5) الملحق (B) :- تحويل الإحداثيات

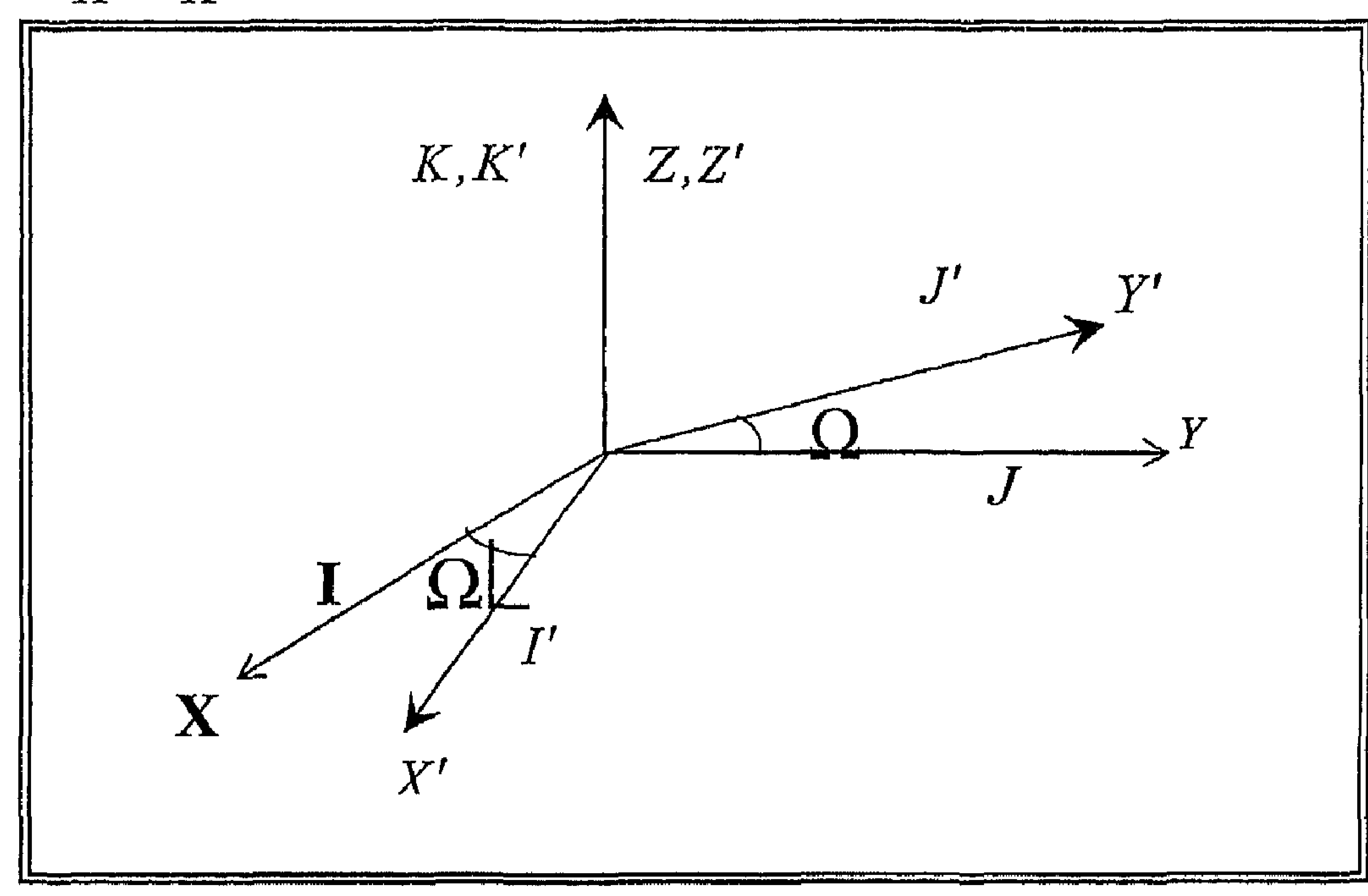
لتحويل الإحداثيات I,J,K إلى الإحداثيات P,Q,W من خلال تدويرها بموجب الزوايا الثلاثة i,Ω,ω يتم ذلك حسب الخطوات التالية:

1- تدوير الإحداثيات I,J,K حول المحور Z يتم من خلال الزاوية Ω كما مبين في الشكل رقم (B-1) للحصول على المتجهات I',J',K' كما يلي:

$$I' = \cos\Omega\ I + \cos\Omega\ J$$

$$J' = -\sin\Omega\ I + \cos\Omega\ J$$

$$K' = K$$



الشكل رقم (B-1) يبين تدوير الاحداثيات بزاوية Ω

أو

$$T_1 = \begin{bmatrix} I' \\ J' \\ K' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cos\Omega & sin\Omega & 0 \\ -sin\Omega & cos\Omega & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I \\ J \\ K \end{bmatrix} \text{-------------------------(B-1)}$$

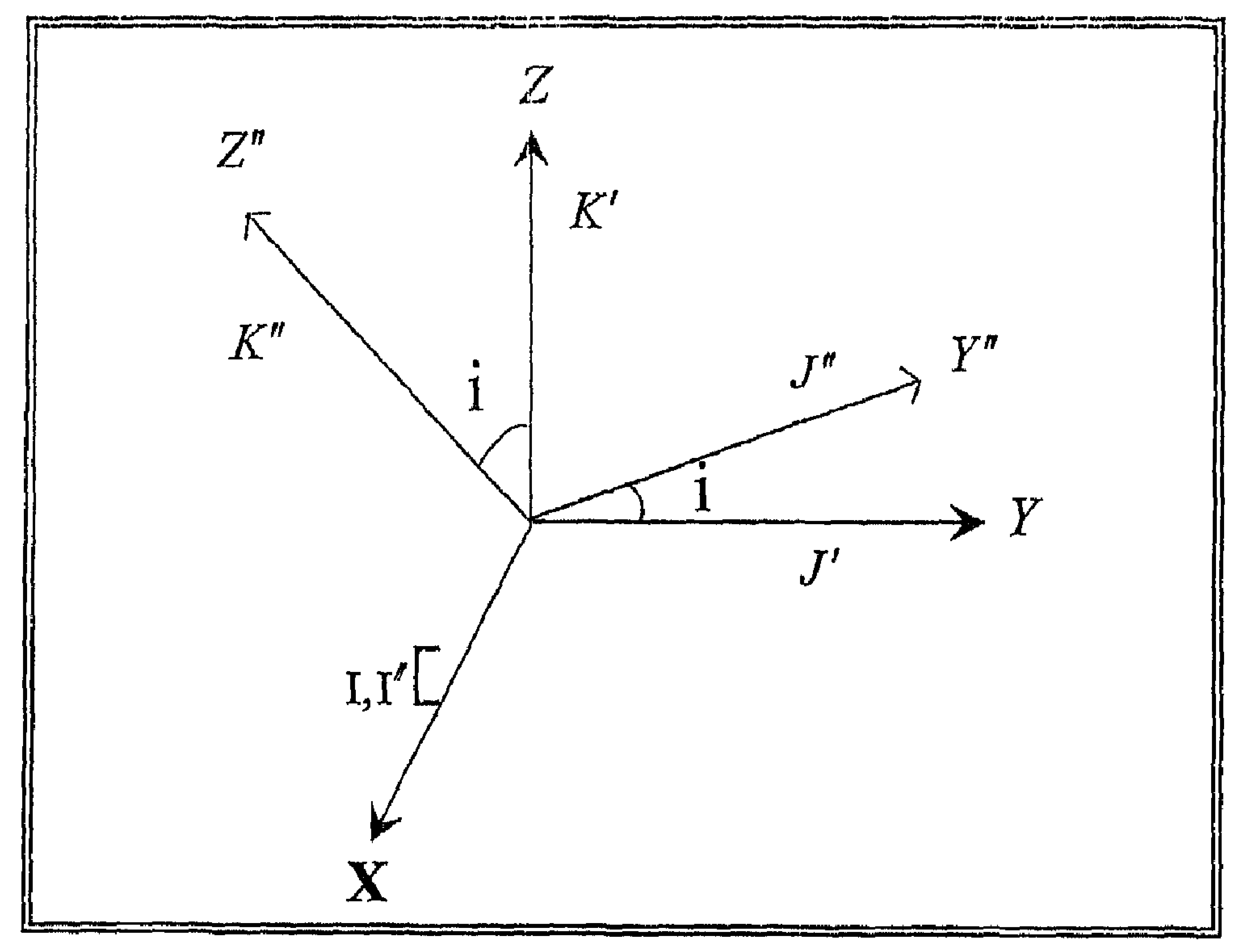
أن الإحداثيات (I',J',K') تدل على الدوران الأول.

2- تدوير الإحداثيات I',J',K' حول المحور (X) بزاوية (i) كما مبين في الشكل رقم (B-2) للحصول على المتجهات I'',J'',K'' ويكون على النحو التالي:

$$I'' = I'$$

$$J'' = cosi\ J' + sini\ K'$$

$$K'' = -sini\ J' + cosi\ K'$$



الشكل رقم (B-2) تدوير الاحداثيات بزاوية (i)

أو

$$T_2 = \begin{bmatrix} I'' \\ J'' \\ K'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos i & \sin i \\ 0 & -\sin i & \cos i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I' \\ J' \\ K' \end{bmatrix} \text{-------------------------} (B\ \text{-}2)$$

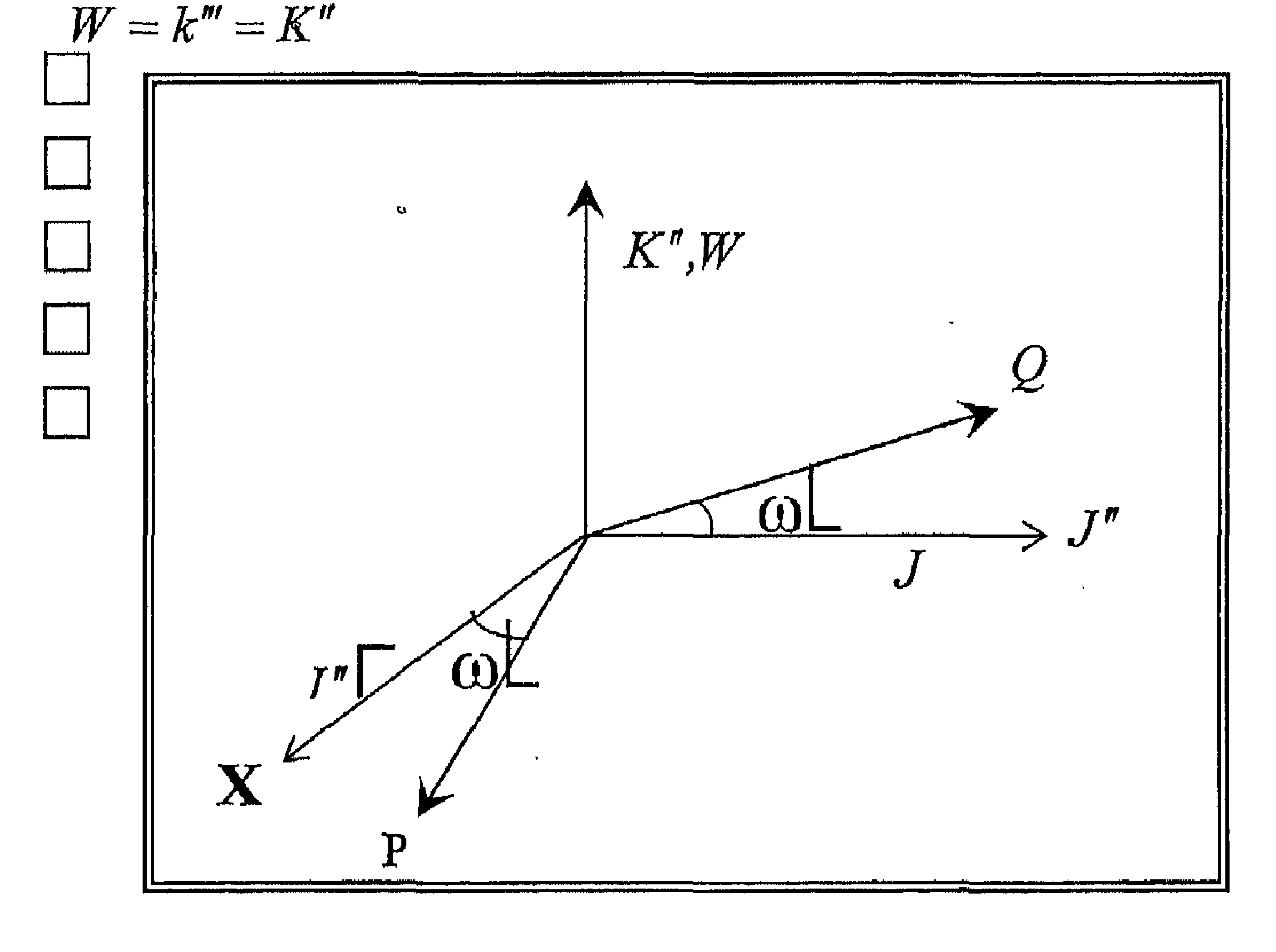
حيث أن الإحداثيات (I'',J'',K'') تدل على الدوران الثاني.

3-تدوير الإحداثيات I'',J'',K'' حول المحور K'' بزاوية ω كما مبين في الشكل رقم (B-3) للحصول:

$$P = I''' = \cos\omega\ I'' + \sin\omega\ J''$$

$$Q = J''' = -\sin\omega\ \ + \cos\omega\ J''$$

$$W = k''' = K''$$



الشكل رقم (B-3) تدوير الاحداثيات بزاوية ω

أو

$$T_3=\begin{bmatrix}P\\Q\\W\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos\omega & \sin\omega & 0\\-\sin\omega & \cos\omega & 0\\0 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}I''\\J''\\K''\end{bmatrix}\text{-----------------------}(B\text{-}3)$$

ويمكن الحصول على مصفوفة التحويل الكلية بواسطة أجراء عملية الضرب المتوالية لمصفوفات التدوير T_1, T_2, T_3 كما يلي:

$$\begin{bmatrix}P\\Q\\W\end{bmatrix}=[T_1]\,[T_2]\,[T_3]\begin{bmatrix}I\\J\\K\end{bmatrix}\text{-----------------------------------}(B\text{-}4)$$

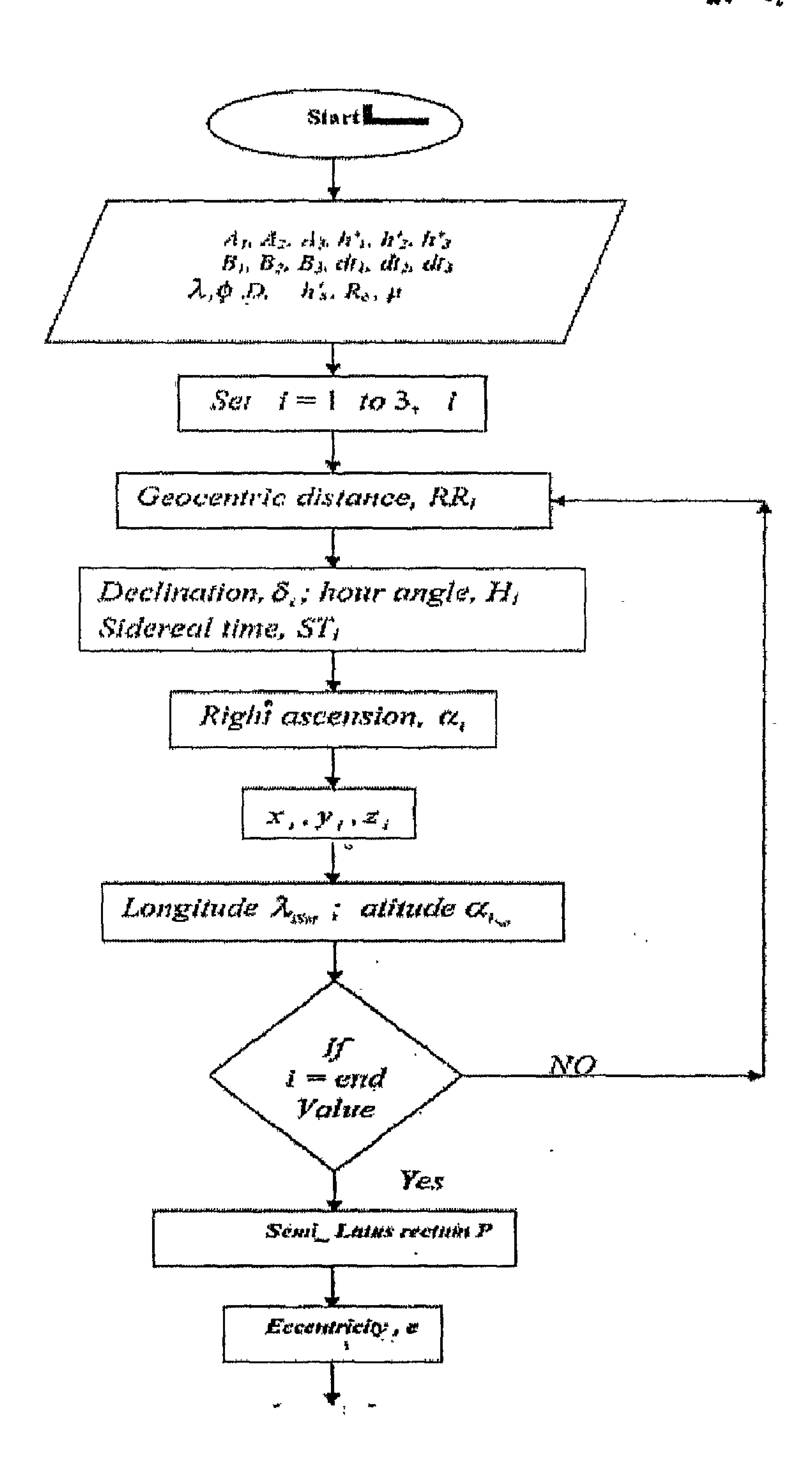
أو

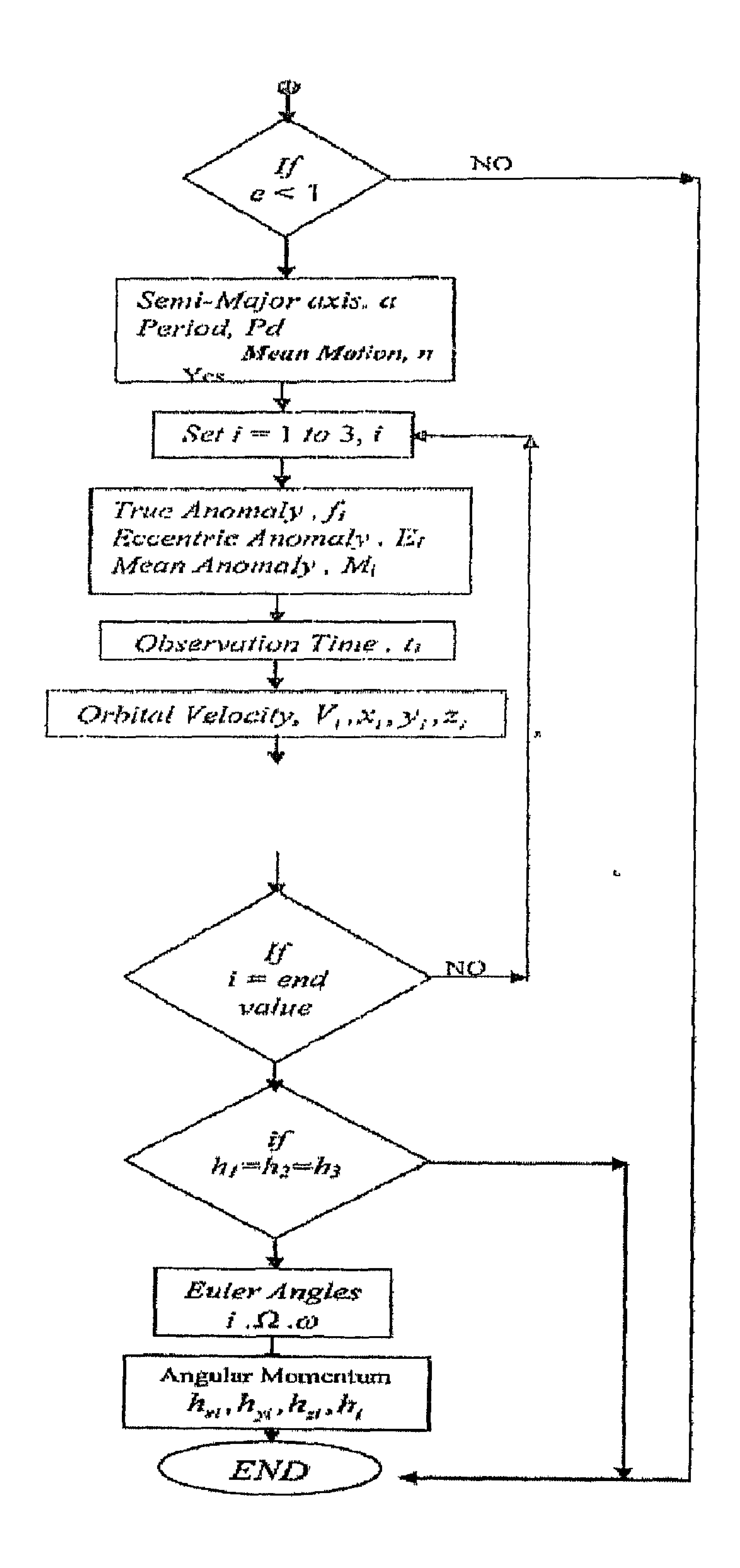
$$\begin{bmatrix}P\\Q\\W\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos\omega\cos\Omega-\sin\omega\cos i\sin\Omega & \cos\omega\sin\Omega+\sin\omega\cos i\cos\Omega & \sin\omega\sin i\\-\sin\omega\cos\Omega-\cos\omega\cos i\sin\Omega & -\sin\omega\sin\Omega+\cos\Omega\cos\omega\cos i & \cos\omega\sin i\\\sin\Omega\sin i & -\sin i\cos\Omega & \cos i\end{bmatrix}$$

$$\text{---}(B\text{-}5)$$

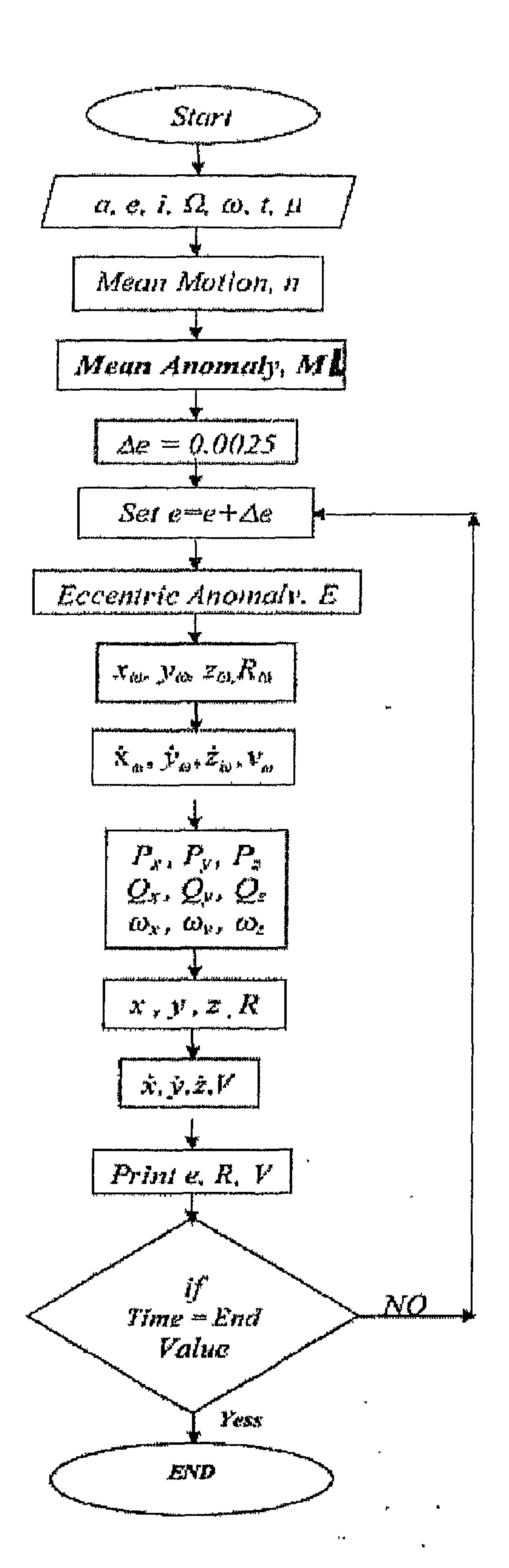
ويمكن كتابة المصفوفة أعلاه على النحو الأتي:

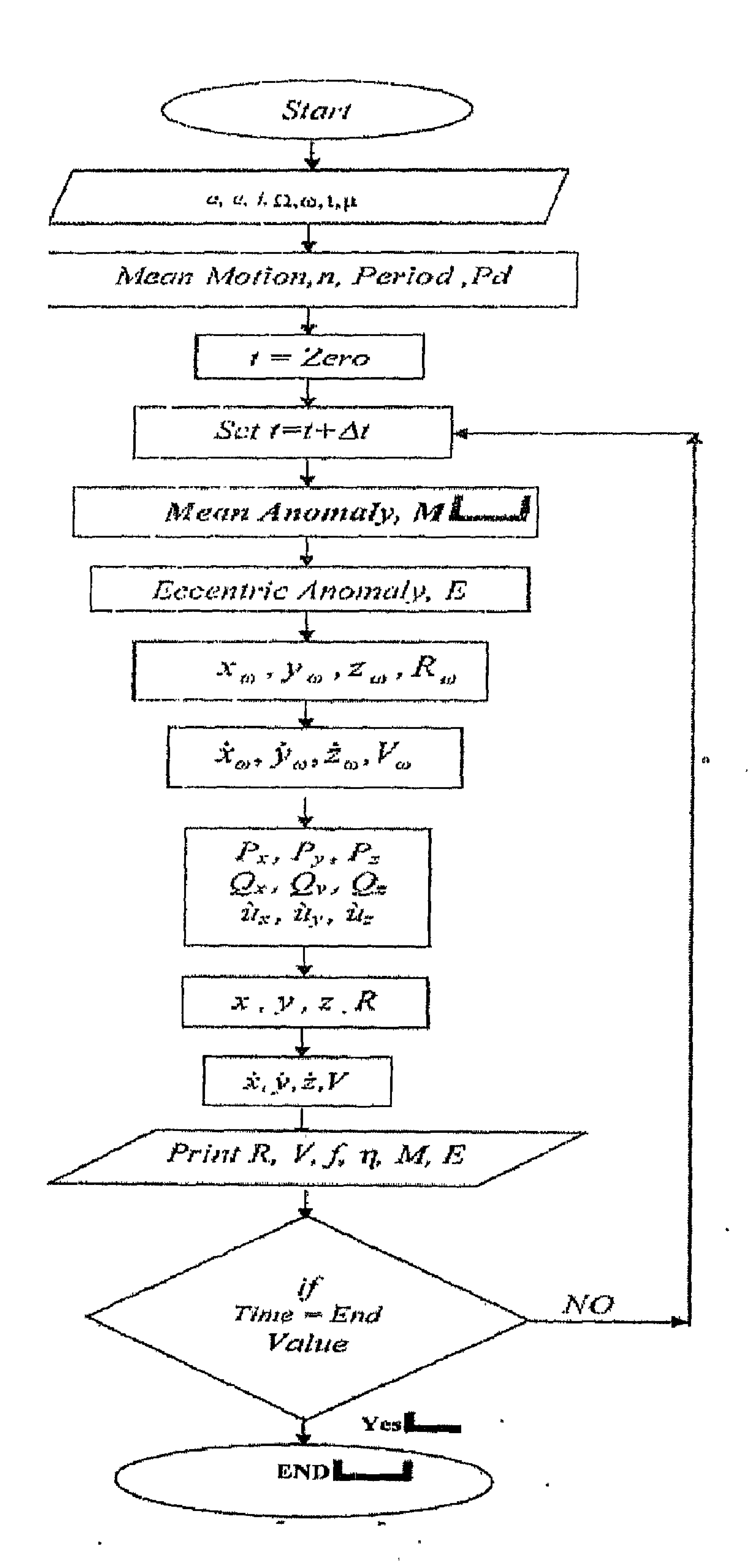
$$R=\begin{bmatrix}P\\Q\\W\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}P_x & P_y & P_z\\Q_x & Q_y & Q_z\\W_x & W_y & W_z\end{bmatrix}\begin{bmatrix}I\\J\\K\end{bmatrix}$$

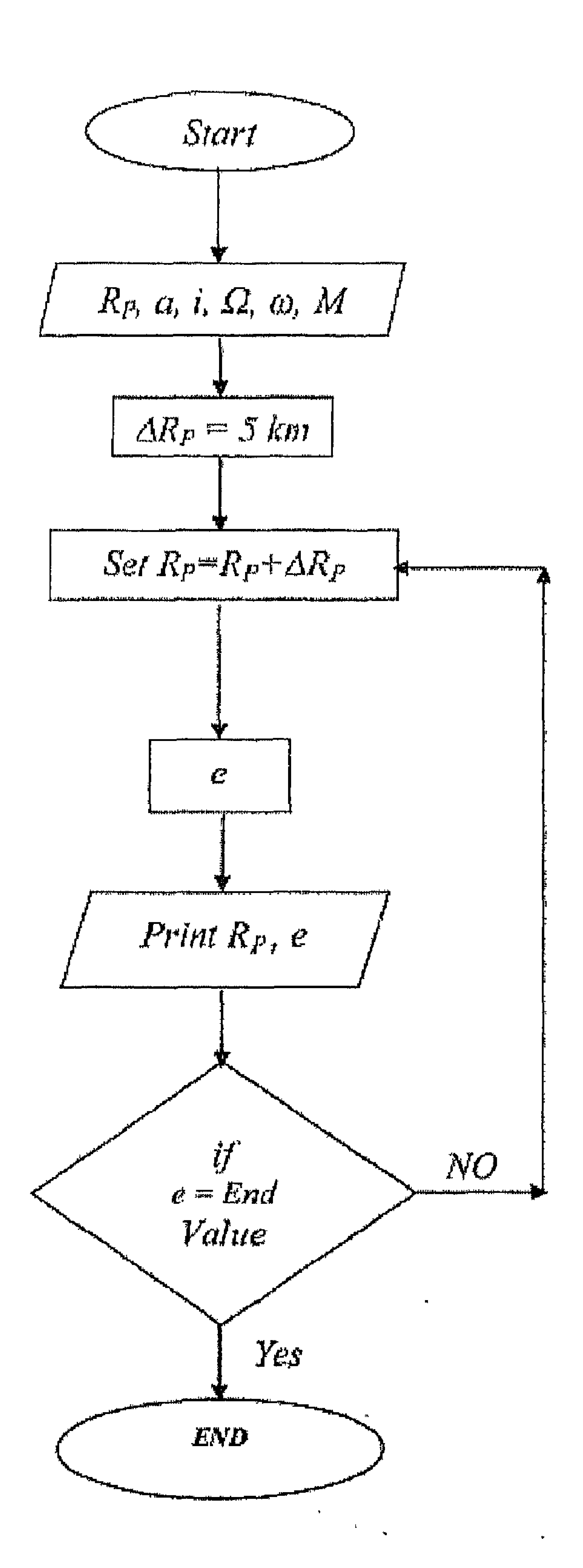

Start
$A_1, A_2, A_3, h'_1, h'_2, h'_3$
$B_1, B_2, B_3, dt_1, dt_2, dt_3$
$\lambda, \phi, D, h'_s, R_e, \mu$
Set i = 1 to 3, I
Geocentric distance, RR_i
Declination, δ_i; hour angle, H_i
Sidereal time, ST_i
Right ascension, α_i
x_i, y_i, z_i
Longitude λ ; altitude α
If
i = end
Value
NO
Yes
Semi_ Latus rectum P
Eccentricity, e

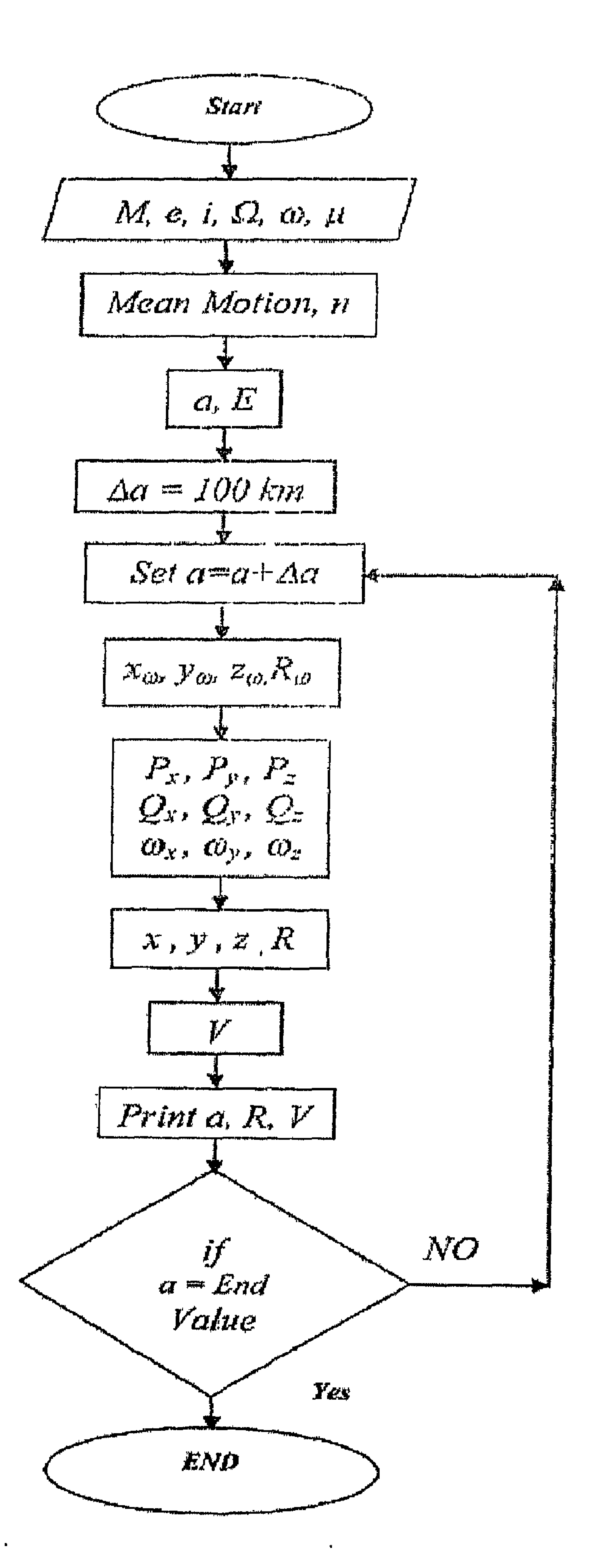


If
$e < 1$
NO
Semi-Major axis, a
Period, Pd
Mean Motion, n
Yes
Set $i = 1$ to 3, i
True Anomaly , f_i
Eccentric Anomaly , E_i
Mean Anomaly , M_i
Observation Time , t_i
Orbital Velocity, V_i, x_i, y_i, z_i
If
i = end
value
NO
if
$h_1=h_2=h_3$
Euler Angles
i, Ω, ω
Angular Momentum
$h_{xi}, h_{yi}, h_{zi}, h_i$
END

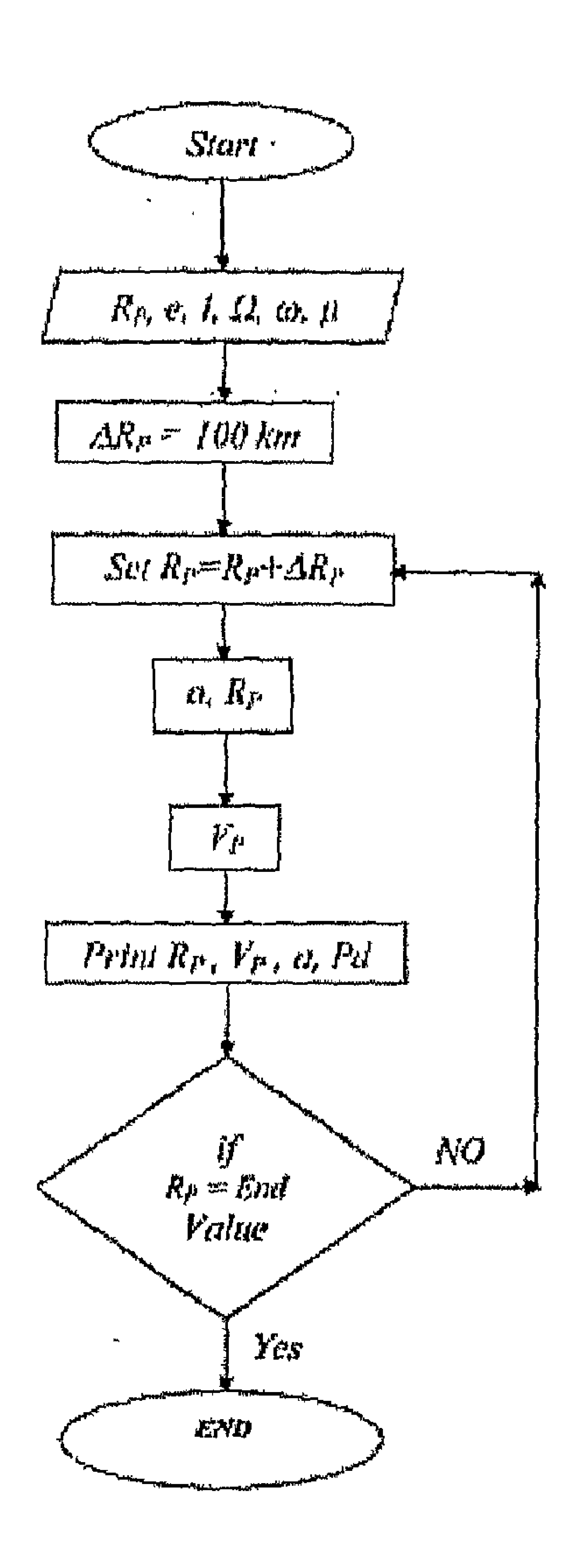

Start
a, e, i, Ω, ω, t, μ
Mean Motion, n
Mean Anomaly, M
Δe = 0.0025
Set e=e+Δe
Eccentric Anomaly, E
x_ω, y_ω, z_ω, R_ω
ẋ_ω, ẏ_ω, ż_ω, V_ω
P_x, P_y, P_z
Q_x, Q_y, Q_z
ω_x, ω_y, ω_z
x, y, z, R
ẋ, ẏ, ż, V
Print e, R, V
if
Time = End
Value
NO
Yess
END

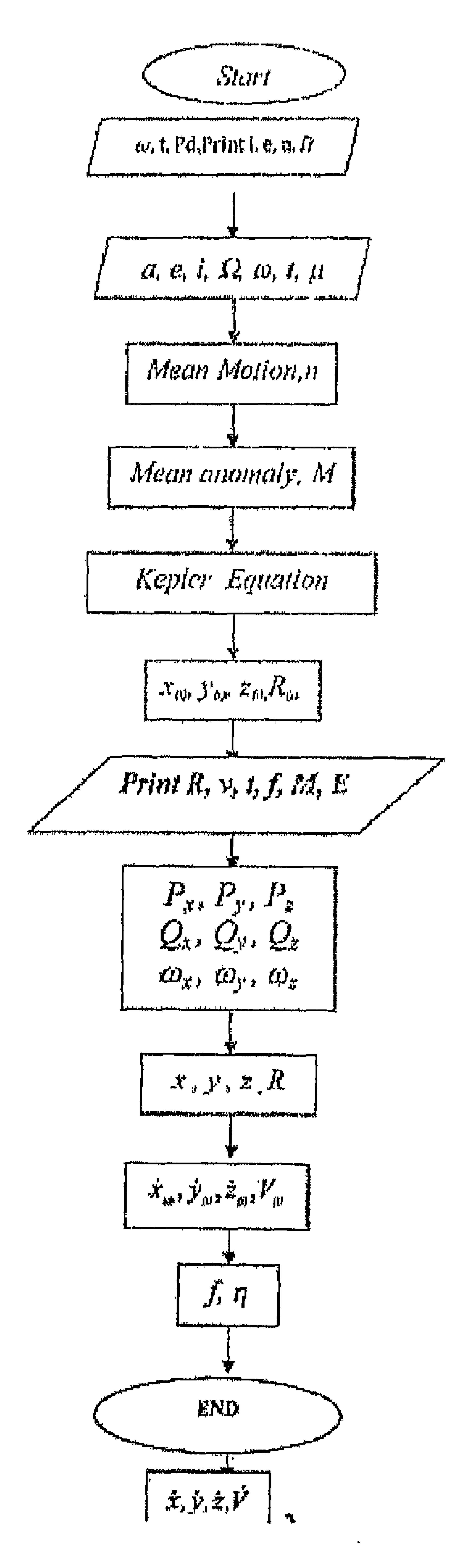

Start
a, e, i, Ω, ω, t, μ
Mean Motion, n, Period, Pd
t = Zero
Set t=t+Δt
Mean Anomaly, M
Eccentric Anomaly, E
x_ω, y_ω, z_ω, R_ω
$\dot{x}_\omega$, $\dot{y}_\omega$, $\dot{z}_\omega$, V_ω
P_x, P_y, P_z
Q_x, Q_y, Q_z
$\hat{u}_x$, $\hat{u}_y$, $\hat{u}_z$
x, y, z, R
$\dot{x}$, $\dot{y}$, $\dot{z}$, V
Print R, V, f, η, M, E
if
Time = End
Value
NO
Yes
END


Start
R_p, a, i, Ω, ω, M
$\Delta R_p = 5$ km
Set $R_p = R_p + \Delta R_p$
e
Print R_p, e
if
e = End
Value
NO
Yes
END



Start
M, e, i, Ω, ω, μ
Mean Motion, n
a, E
Δa = 100 km
Set a=a+Δa
x_ω, y_ω, z_ω, R_ω
P_x, P_y, P_z
Q_x, Q_y, Q_z
ω_x, ω_y, ω_z
x, y, z, R
V
Print a, R, V
if
a = End
Value
NO
Yes
END


Start
R_p, e, I, Ω, ω, μ
ΔR_p = 100 km
Set $R_p = R_p + \Delta R_p$
a, R_p
V_p
Print R_p, V_p, a, Pd
if
R_p = End
Value
NO
Yes
END


Start
ω, t, Pd,Print i, e, a, Ω
a, e, i, Ω, ω, t, μ
Mean Motion,n
Mean anomaly, M
Kepler Equation
$x_{(\omega)}, y_{(\omega)}, z_{(\omega)}, R_{(\omega)}$
Print R, v, t, f, M, E
P_x, P_y, P_z
Q_x, Q_y, Q_z
$\omega_x, \omega_y, \omega_z$
x, y, z, R
$\dot{x}_{(\omega)}, \dot{y}_{(\omega)}, \dot{z}_{(\omega)}, V_{(\omega)}$
f, η
END
$\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, \dot{V}$

الملحق (D) :- قائمة المصطلحات

قائمة بالمصطلحات		
الرمز	تعريف الرمز باللغة الإنكليزية	تعريف الرمز باللغة العربية
a	**Semi-major axis**	**نصف المحور الكبير**
A	Azimuth	الاتجاه الافقي عن الشمال للمحطة الاولى
A′	Cross-Section area	مساحة المقطع العرضي للقمر الصناعي
A″	Constant of Integration	ثابت التكامل
B	Azimuth	الاتجاه الافقي عن الشمال للمحطة الثانية
b	Semi-Minor axis	نصف المحور الصغير
C	**Energy of the system**	طاقة النظام
D	**S2،between S1 Distance**	المسافة بين محطتي الرصد
DL(i)	**Distance between station and sub-satellite in degree**	المسافة بين محطة الرصد ومسقط القمر بالدرجات
e	**Eccentricity of the orbit**	الانحراف المركزي للمدار
E	Eccentric Anomaly	الانحراف الشاذ
E_n	**Total energy**	الطاقة الكلية
F	True Anomaly Angle	زاوية الانحراف الحقيقي
F_2،F_1	**Focus of the ellipse**	بؤرتا القطع الناقص
G	Universal gravitation constant	ثابت الجذب الأرضي
H	**Hour angle**	زاوية الساعة
h	Angular momentum per unit mass	الزخم الزاوي مقسوم على وحدة الكتل
h′	**Elevation of satellite**	**الارتفاع الزاوي للقمر الصناعي**
h_z، h_y ،h_x	Components of Angular momentum	مركبات الزخم الزاوي
H_s	Hight station over sea level	ارتفاع المحطة عن سطح البحر
H_z	Defferent hight between station and sub-satellite	فرق الارتفاع بين المحطة ومسقط القمر
h_L	Earth shadow hight	ارتفاع ظل الارض

قائمة بالمصطلحات

الرمز	تعريف الرمز باللغة الإنكليزية	تعريف الرمز باللغة العربية
i□	Orbital Inclination angle	زاوية ميل المدار
$\hat{i}$	Unit vector along the x-axis in reference plane□	وحدة المتجه على طول المحور x في المدار المرجعي
$\hat{j}$	Unit vector along the y-axis in reference plane	وحدة المتجه على طول المحور y في للمدار المرجعي
K	Hight of satellite	ارتفاع القمر الصناعي عن سطح الارض
$\hat{k}$	Unit vector along the z-axis in reference plane	وحدة المتجه على طول المحور z في المدار المرجعي
L	**Distance between the station and sub-satellite**	المسافة بين محطة الرصد ومسقط القمر الصناعي
Lat(i)	**Distance between two latitude**	المسافة بين خطي عرض جغرافي
Lng(i)	**Distance between two longitude**	المسافة بين خطي طول جغرافي
M	**Mean Anomaly**	زاوية معدل الانحراف
Mv	**Magnitude for satellite**	القدر الضوئي للقمر الصناعي
m_1, m_2	**Mass of particles**	كتل الجسمين المتجاذبين
n	**Mean Motion(Mean velocity)**	معدل الحركة المدارية (معدل السرعة)
p	**Semi-Latus rectum**	نصف معلم المدار
P'	**Slant range**	بعد القمر الصناعي عن الراصد
P	Unit vector in orbit plane toward perigee	وحدة المتجه في مستوي المدار باتجاه نقطة الحضيض
P_z، P_y ،P_x	Components of Unit vector P	مركبات وحدة المتجه P
Pd	**Time period of the satellite**	زمن دورة القمر الاصطناعي
Q	Unit vector in orbit plane and normal to p	وحدة المتجه في مستوي المدار وعمودي على P
Q_z،Q_y ،Q_x	Components of Unit vector Q	مركبات وحدة المتجه Q
R	**Radial distance**	المسافة النصف قطرية

الرمز	تعريف الرمز باللغة الإنكليزية	تعريف الرمز باللغة العربية
R_e	Earth equatorial radius	نصف قطر الأرض
RR	**Radial distance of satellite**	بعد القمر الصناعي عن مركز الارض
$\dot{R}$	**Radial Component of the velocity vector**	المركبة النصف قطرية لمتجه السرعة
$R\dot{f}$	Transverse component of the velocity vector	المركبة المماسية لمتجه السرعة
R_a	Radial distance in apogee	المسافة النصف قطرية عن نقطة الاوج
R_p	**Radial distance in perigee**	المسافة النصف قطرية عن نقطة الحضيض
$S.T$	**Siderial time**	الزمن النجمي
t	**Time at any position**	الزمن في اي موقع
t_s	**Time after sun set**	الزمن بعد الغروب
t_p	**Time of perigee passage**	زمن المرور بنقطة الحضيض
U.T	Universal time	التوقيت العالمي
V	Velocity of satellite in its orbit (orbital velocity)	سرعة القمر الاصطناعي في المدار
V_a	Velocity of satellite at apogee	السرعة القمر الاصطناعي عند الاوج
V_p	Velocity of satellite at perigee	السرعة القمر الاصطناعي عند الحضيض
W	Unit vector normal to orbit plane	وحدة المتجه العمودية على مستوي المدار
W_z، W_y،W_x	**Components of Unit vector normal to orbit plane**	مركبات وحدة المتجه العمودية على مستوي المدار
X, Y, Z $\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z}$	**Cartesian coordinate in reference plane in ellipse**	الإحداثيات الديكارتية للموقع والسرعة في المستوي المرجعي للقطع الناقص
X_w, Y_w, Z_w	**Cartesian coordinate in orbit plane for ellipse**	الإحداثيات الديكارتية في مستوي مدار للقطع الناقص
$\dot{X}_w, \dot{Y}_w, \dot{Z}_w$	**Component of Velocity in orbit plane for ellipse**	مركبات السرعة في مستوي المدار للقطع الناقص

الرمز	تعريف الرمز باللغة الإنكليزية	تعريف الرمز باللغة العربية
Ω□	**Longitude of Ascending node**	خط طول العقدة
β'	Latitude	خط العرض الجغرافي
λ	Longitude	خط الطول الجغرافي
$\lambda_{sat(i)}$	Satellite longitude at all observations	خط طول القمر الصناعي في كل رصدة
μ	**Earth Gravitational constant**	ثابت الجذب الأرضي
φ	Observer latitude	خط عرض الراصد
$\varphi_{sat(i)}$	Satellite latitude at all observations	خط عرض القمر الصناعي في كل رصدة
$\mathcal{E}$	Reflectness of satellite	انعكاسية القمر الصناعي
δ	Declination	البعد الزاوي للقمر الصناعي عن دائرة الاستواء
α	Right asscention	المطلع المستقيم
γ	Angle between two observation stations	الزاوية المحصورة بين رصدتي المحطتين
η, β	Flight path angle	زاوية مسار الطيران
θ	Complete angle	الزاوية المكملة لزاوية الاتجاه
ω	Argument of perigee	دالة مثابة الحضيض

المصادر

References

[1]- ميخائيل عبد الأحد- الموسوعة الفلكية المبسطة(دار الكتب للطباعة والنشر ، بغداد) ص261 ، سنة 1977.

[2]- د.حميد مجول ، د. فياض النجم- فيزياء الفضاء والجو- وزارة التعليم العالي والبحث العلمي 1977، العراق.

[3]- Roy، A.E.، " Orbital Motion "، 3rd adition، Arrow Smith، Bristol، Great Britain، England، 1986.

[4]- A. chobotov، V.، " Orbital Mechanics "، American Institute of Aeronautics and Astronautics، Inc. Washington، DC. USA ، 1996.

[5]- FAQ، " What different Kinds of Satellite Orbits "، http://www.different kinds of satellite، 2002.

[6]- هيثم النوري ، "مدخل الى جيوديزيا الأقمار الصناعية" الدار العربية للعلوم ، لبنان، 1997.

[7]- Boeing، " What is a Satellite "، http://www.hughespace.com، 2002.

[8]- " Types Of Orbits "، http://marine.rutegers.edu/mrs/education/class/Paul/orbit2.html ، 2002.

[9]- R. Currtis، Anthony، " What is the Orbit of Satellite? " http://www.satelliteorbits.html، 2002.

[10]- Spancer، H.، " Orbit Definitions "، http://www.orbit definitions.html، 2001.

[11]- G.Lecohier، Y.Guermonprez، " European Molniya and Tundra Orbit Control "، Mission Analysis and design section، EUROPEAN SPACE

AGENCY (ESTEC-ESCO)، Me'canque Spatiale، Space Dynamics، Center National D'etudes Spatiales، pp.165-199، 1989،.

[12]- P.، Jason،" High Altitude satellite Observers Home Page " ، http://www.geocities.com/Cap Conaveral/Hangar/1668/Orbits.html، 2002.

[13]- Greg Roberts ، " Artificial Satellite Tracking "، Part I، II، African Skies by working Group on Space Sciences in Africa، C/O South African Astronomical Observation 7935، South African، http://www.saac. ac.za/nwgssa/، 1999.

[14]- Roy، A.E.، " Astronomy: Principles and Practice "، Ch.،2 Crane Russak and Company، Inc.، U.S.A، 1987.

[15]- Garfinkel، B.، " The Orbit of a satellite of an Oblate Planet "، the Astronomical Journal Planet، Vol. 64، No. 9، P. 353-366، 1959.

[16]- Kozia، Y.، " The motion of close Earth Satellite "، Astronomical Journal، V. 64، No.9، pp.367-377، 1959.

[17]- Brouwer، D.، " Solution of the problem of Artificial Satellite Theory without Drag "، Astronomical، Journal، Vol. 64،No.9، pp.378-397، 1959.

[18]- Escopal، P.R،" Methods of Orbit Determination " John Wiley and Sons، Inc. London، 1965.

[19]- Stiefel، E.L. and Scheifele، G.،" Linear and Regular Celestial Mechanics "، Springer-Verlag، Berlin، Heidelberg، New York، 1971.

[20]- Ananda، M.، " Navistar Global Positioning System (GPS): Future Enhanced Capabilities "، proc. Int. Symp. Space Craft Flight

Dynamics، Damastadt، Frg، May 18-22، 1981 (ESA Sp.160، August-1981).

[21]- Tadashi، A.، Kenich، A.، " Improvement of Satellite Tracking Accuracy Using Optical Observations "، IEEE Trans Aerosp Electron Syst.، Vol. AES-21، No. 4، P.514- 521، 1985.

[22]- Takanori، N.، Tadashi، S.، Tomoyuki، I.، Yutaca. N.، " Japans CS(SAKURA) Communication Satellite Experiments-III: Satellite Control Experiments on The CS "، IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems، Vol. AES-22; No. 3، P.240-246، 1986.

[23]- Hoots، F. and France، R.، " An Analytic Satellite Theory Using Gravity and dynamic Atmosphere "، celes. mech.40، pp.1-18، 1987.

[24]- Sondach، A. C.; Modi، V. J.; A.C، " Analytical Solution of a gravity gradient axis-symmetric Satellite in eccentric orbits"، Inter national journal of Control، Vol. 50، No. 6، P. 2187-2203، 1989.

[25]- Prased، P.R; Rao، S.V; Anath، K.، " Orbit Computation System for IRS "، Acta Astronautica، Vol. 20، P.103-110، 1989.

[26]- Corault، C.، " Maui Optical Station Photographs External Tank Reentry "، Break up، Aviation Week and Space Technology، Washington، June 11، P. 52-53، 1990.

[27]- Craig، C.; Semik، E.; Shifrin، D.، " Profiting From Satellite Orbit Predication "، Satellite Communication، Atlanta، Vol.16، No. 11، P.23-26، 1992.

[28]- Enrique، S.; Robert، S.، " Traching of Inclined Orbit Satellite "، Satellite Communication، Atlanta، Vol.16، No. 4، P.33-35، 1992.

[29]- Metris، G. and Breiter، S.، " Keplerian Expansions in Terms of Henrard's Pratical Variables "، Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy 58، pp.237-244، 1994.

[30]- Jon، U.، " An Orbit which models Atmospheric Drag، J_2 effect and Lunar perturbations "، M. Engineering program office thesis، university of Colorado، 1996.

[31]- حيدر عبد الجليل، " رصد وتحديد مدارات الأقمار الصناعية بصريا "، رسالة ماجستير مقدمة إلى جامعة بابل- كلية العلوم- قسم الفيزياء، عام 2000.

[32]- خالد سامي، " حساب العناصر المدارية لقمرصناعي واطئ الارتفاع تحت تاثير كبح الغلاف الغازي وتفلطح الارض باستخدام مرشحات كالمن (Kalmin Filters) "، رسالة ماجستير مقدمة إلى جامعة بغداد- كلية العلوم- قسم الفلك والفضاء، عام 2003.

[33]- Oubaid، Rawa، Mizhir، " The effect of Solar activity on the orbits of Satellite of low altitude artificial "، M. Sc. Thesis، University of Babylon، 2002.

[34]- AL-Jawari M.، Q.، " The Determination of Orbital Parameters and perturbation Motion of Satellite "، M. Sc. Thesis، University of Al-Mustanseryha، 1998.

[35] – أنس سلمان طه الهيتي، " الاضطرابات المؤثرة على مدارات الأقمار الصناعية الواطئة "، رسالة ماجستير مقدمة إلى جامعة بغداد- كلية العلوم- قسم الفلك والفضاء، 2000.

[36]- Roy، A.E.; Clarke، D.، " Astronomy: Principles and Practice "، Ch.6 and 7، Crane، Russak and Company، Inc.، U.S.A، 1977.

[37]- Zarrouati، O.، " Trajectoires Spatiales "، Cepadues-Edi، Center National Detnde Spatiades (CNES)، 1987.

[38]- King-hele، " Satellite Orbits in an Atmosphere: Theory and Application "، Thomson Press، India، 1987.

[39]- Kamp، D.; Van، P.، " Elements of Astromechanics "، W.H. Freemanand Company، San Francisco and London، 1964.

40]- U.S. Government Printing Office، " The Astronomical Almanac "، Her Majesty's Stationary Office، London، 1989.

[41]-Tattersfield، D.، " Orbits for Amateurs with Computer "، Stanley Thornes (publishers) Ltd، 1976..

[42]- Odell، A.W. and Gooding، R.H.، " Procedure for solving Kepler's Equation "، Celestial Mechanic 38، pp.307-334، 1986.

[43]- E.S.A.، " Ranging Standard "، European Space Agency Publications Division، ESTEC، Noordwijk، The Nether Lands، Vol.1، March، Issue2.، 1991.

[44]- Koeue، H.H.، " Hand Book of Astronomical Engineering "، NASA، Mc Graw Hill Company، 1961.

[44]- AL-Ali، A.A.K.A.، " Attitude Behavior of Imaging Dual Spin Satellite for Remote Sensing Teachings "، M. Sc. Thesis، Submitted to the Department of Surveying، College of Engineering، University of Baghdad، 2000.





دار غيداء للنشر والتوزيع

تلاع العلي - شارع الملكة رانيا العبدالله
تلفاكس : 5353402 6 962+
ص.ب : 520946 عمان 11152 الأردن

مجمع العساف التجاري - الطابق الأول
خلــوي : 95667143 7 962+
E-mail: darghidaa@gmail.com

9 789957 572891